



TESIS - RE185401

HUBUNGAN ANTARA RASIO BOD/COD TERHADAP PARTISI OKTANOL AIR PADA ZAT ORGANIK

LATIFA MIRZATIKA AL-ROSYID

03211650012009

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MSc.ES

PROGRAM MAGISTER TEKNIK LINGKUNGAN

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2019

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Latifa Mirzatika Al-Rosyid

NRP. 03211650012009

Tanggal Ujian : 9 Januari 2019

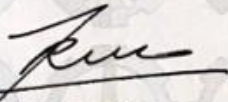
Periode Wisuda : Maret 2019

Disetujui oleh :



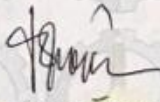
1. **Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.Sc. ES**
NIP. 19540824 198403 1 001

(Pembimbing)



2. **Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, M.T.**
NIP. 19650508 199303 1 001

(Penguji)



3. **Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D**
NIP. 19710818 199703 2 001

(Penguji)



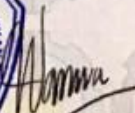
4. **Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., MEPM**
NIP. 19820119 200501 1 001

(Penguji)



Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dekan



Dr. Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19750212 199903 2 001

HUBUNGAN ANTARA RASIO BOD/COD TERHADAP PARTISI OKTANOL AIR (POW) PADA ZAT ORGANIK

Nama Mahasiswa: Latifa Mirzatika Al-Rosyid
NRP : 03211650012009
Departemen : Teknik Lingkungan
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoediharjo, MSc.ES

ABSTRAK

Penggunaan bahan bakar fosil pada berbagai kegiatan dan aktivitas industri energi menghasilkan berbagai lepasan zat organik. Semakin banyak jumlah zat organik di dalam air limbah, maka akan semakin sulit dalam pengelolaannya karena beberapa zat sulit diuraikan oleh mikroorganisme di dalam limbah tersebut. Mutu air limbah berkandungan zat organik dapat dinyatakan sebagai BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*), yang merepresentasikan banyaknya variasi senyawa yang dapat dibentuk sejalan dengan perkembangan produksi senyawa organik. Tendensi suatu zat, apakah ke air atau biota dapat ditunjukkan melalui partisi oktanol air. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis status kualitas zat organik (*acceptable*, *biodegradable* dan *non-biodegradable*) dari golongan senyawa yang berbeda, yaitu alifatik dan aromatik pada 6 jenis zat organik yaitu : Glukosa, Laktosa, Sukrosa, Formaldehid, Asam Asetat dan Asam Oksalat dengan variasi tiga konsentrasi berbeda yaitu 10 mg/l, 100 mg/l dan 1000 mg/l. Bagaimana hubungan antara rasio BOD/COD terhadap POW (partisi oktanol *water*). Bagaimana verifikasi hasil uji toksisitas LC₅₀-96h menggunakan ikan *Brachydanio rerio*.

Hasil penelitian menunjukkan nilai POW berbanding lurus dengan tingkat toksisitas (*toxicity level*) dan berbanding terbalik dengan rasio BOD/COD. Dimana semakin *non-biodegradable* suatu zat, semakin kecil rasio BOD/COD. Zat organik dengan rasio BOD/COD terkecil yaitu formaldehid sebesar 0,082, termasuk dalam kategori *non-biodegradable* dan rasio BOD/COD terbesar yaitu laktosa sebesar 0,925, termasuk dalam kategori *biodegradable*. Zat organik dari golongan senyawa aromatik, yaitu formaldehid, asam asetat dan asam oksalat, memiliki nilai POW yang lebih besar dibandingkan zat organik golongan senyawa alifatik, yaitu glukosa, laktosa dan sukrosa.

Pada uji LC₅₀-96h, Formaldehid memiliki nilai terkecil yaitu 23,99, sehingga diperoleh respons *Brachydanio rerio* dengan mortalitas tertinggi. Hal tersebut memverifikasi *biodegradability* formaldehid yang termasuk dalam kategori *non-biodegradable*. Penelitian ini menunjukkan bahwa semakin *non-biodegradable* suatu zat organik, semakin bertendensi ke biota. Tidak terbuang melalui air, urin maupun sistem pembuangan lainnya (hanya sebagian kecil saja).

Katakunci : Rasio BOD/COD, POW, Zat Organik dan *Brachydanio rerio*

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

CORRELATION BETWEEN BOD/COD RATIO WITH PARTITION RATIO OF OCTANOL WATER ON ORGANIC MATTER

Student Name : Latifa Mirzatika Al-Rosyid
Student ID Number : 03211650012009
Department : Environmental Engineering
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoediharjo, MSc.ES

ABSTRACT

The use of fossil fuels in various activities and energy industry, produces various releases of organic substances. The more the amount of organic matter in wastewater, it will be more difficult in its management because some substances are difficult to decomposed by microorganisms in it. The quality of wastewater containing organic matter can be acknowledged as BOD (Biological Oxygen Demand) dan COD (Chemical Oxygen Demand). Both parameters represent the variations of compounds that can be formed in line with the production development of organic compounds. Solubility, characteristic absorption, and organic biodegradability have been empirically correlated with octanol water partition. The purpose of this study was to analyze the quality status of organic matter (acceptable, biodegradable and toxic) from different groups of compounds, aliphatic and aromatic in six types of organic substances : Glucose, Lactose, Sucrose, Formaldehyde, Acetic Acid and Oxalic Acid with three different concentrations of 10 mg/l, 100 mg/l and 1000 mg/l. How was the correlation between BOD/COD ratio to POW. How to verify the results of the LC₅₀-96h toxicity test using *Brachydanio rerio*.

The results showed that the value of POW was directly proportional to the toxicity level and inversely proportional to the BOD/COD ratio. Organic matter with the smallest BOD/COD ratio is formaldehyde with 0,082, categorized as nonbiodegradable and the biggest BOD/COD ratio is lactose with 0,925, categorized as biodegradable. Organic substances from aromatic compounds : Formaldehyde, Acetic Acid and Oxalic Acid, have greater POW value than organic substances from aliphatic compounds : Glucose, Lactose and Sucrose.

Formaldehyde has the smallest value of 23,99 in the LC₅₀-96h test, *Brachydanio rerio* obtained with the highest mortality. This verified the biodegradability of formaldehyde that categorized as nonbiodegradable. This research shows that the more nonbiodegradable the organic matter, the more it tends to biota. Not wasted through water, urine or other disposal systems (only a small portion).

Keywords: BOD/COD Ratio, POW, Organic Matter and *Brachydanio rerio*

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji bagi Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “**Hubungan Antara Rasio BOD/COD Terhadap Partisi Oktanol Air (POW) Pada Zat Organik**” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister di Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penulisan tesis ini penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Ungkapan terima kasih penulis sampaikan secara tulus mengingat tanpa bantuan mereka penyusunan tesis ini tidak akan berjalan sebagaimana mestinya.

Ucapan terima kasih yang tak terkira untuk kedua orangtua tercinta dan adik-adikku atas setiap kasih sayang, doa, pengorbanan dan perhatiannya selama ini. Semoga kita semua selalu berada dalam lindungan Allah Subhanahu Wa Ta'ala.

Pada kesempatan ini pula penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Bapak **Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoediharjo, MSc. ES.**, selaku dosen pembimbing tesis, yang atas keikhlasannya meluangkan waktu, memberikan petunjuk, saran, dan pemikirannya dalam membimbing penulis.
2. Bapak **Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.**, Ibu **Bieby Voijant Tangahu, ST, MT, Ph.D.**, dan Bapak **Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST, MEPM.**, selaku dosen pengarah yang telah memberikan arahan serta saran mengenai penelitian ini.
3. Bapak dan Ibu Laboran di Laboratorium Remediasi Teknik Lingkungan dan Laboratorium Teknologi Pengolahan Air Departemen Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
4. Nuris, Ragil, Madin, Yuvita, Ichi, Yaya dan teman-teman Magister Teknik Lingkungan 2016 yang telah memberikan semangat, dukungan, dan senantiasa berbagi suka maupun duka selama masa perkuliahan ini.

Semoga Allah Subhanahu Wa Ta'ala membalas semua amal kebaikan dan kita semua mendapatkan ridho dariNya. Amin Ya Robbal Alamin.

Surabaya, Januari 2019

Penulis

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	4
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 BOD dan COD	7
2.2 Partisi Oktanol Air.....	11
2.3 Glukosa.....	12
2.4 Laktosa	14
2.5 Sukrosa	15
2.6 Formaldehida	16
2.7 Asam Asetat.....	19
2.8 Asam Oksalat.....	20
2.9 Uji Toksisitas <i>Lethal Concentration 50</i> (LC ₅₀)	21
2.10 <i>Brachydanio rerio</i> (Ikan Zebra)	22
2.11 Penelitian Terdahulu.....	24
BAB 3 METODE PENELITIAN	25
3.1 Kerangka Penelitian.....	25
3.2 Ide Penelitian	26
3.3 Lokasi Penelitian	26
3.4 Studi Literatur.....	28
3.5 Pelaksanaan Penelitian	28
3.5.1. Persiapan Alat dan Bahan.....	28

3.5.2 Penelitian Utama.....	31
3.5.3 Uji Toksisitas LC ₅₀ <i>Brachydanio rerio</i>	34
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Hasil	37
4.1.1 Analisis BOD ₅ , COD dan POW.....	37
4.1.2 Uji Toksisitas LC ₅₀ <i>Brachydanio rerio</i>	38
4.2 Pembahasan.....	39
4.2.1 Hubungan Antara Rasio BOD/COD dan POW	39
4.2.2 Uji Toksisitas LC ₅₀ <i>Brachydanio rerio</i>	40
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	43
5.1 Kesimpulan dan Saran.....	43
5.2 Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Glukosa.....	13
Gambar 2.2 Struktur Laktosa.....	14
Gambar 2.3 Struktur Sukrosa	15
Gambar 2.4 Struktur Asam Asetat.....	19
Gambar 2.5 Struktur Asam Oksalat.....	21
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian.....	26
Gambar 3.2 Rangkaian Uji Toksisitas <i>Brachydanio rerio</i>	36
Gambar 4.1 Tingkat <i>Biodegradability</i> Zat Organik	37

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Biodegradability</i> Indeks	8
Tabel 2.2 Karakteristik Formaldehida	17
Tabel 2.3 Pengaruh Formaldehida Terhadap Kesehatan Manusia	18
Tabel 2.4 Sistematika Ikan Zebra (<i>Brachydanio rerio</i>).....	23
Tabel 2.5 Penelitian Terdahulu.....	24
Tabel 3.1 Variasi Penelitian.....	33
Tabel 4.1 Nilai LC ₅₀ -96h Zat Organik Terhadap <i>Brachydanio rerio</i>	39
Tabel 4.2 Tingkat <i>Biodegradability</i> Zat Organik	40

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan bahan bakar fosil pada berbagai kegiatan dan aktivitas industri energi menghasilkan berbagai lepasan zat organik. Semakin banyak jumlah zat organik di dalam air limbah maka akan semakin sulit dalam pengelolaan limbah karena beberapa zat sulit diuraikan oleh mikroorganisme di dalam limbah cair tersebut. Mutu air limbah berkandungan zat organik dapat dinyatakan sebagai BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*). Kedua parameter tersebut merepresentasikan banyaknya variasi senyawa yang dapat dibentuk sejalan dengan perkembangan produksi senyawa organik. Sejalan dengan kompleksitas kuantitas, zat organik mempunyai kompleksitas mutu air limbah (Mangkoedihardjo, 2010). Rasio BOD/COD mengindikasikan biodegradabilitas dari air buangan, semakin tinggi rasio maka semakin rendah biodegradabilitas dari air buangan (Papadopoulos *et al.*, 2001). Tendensi zat untuk menghasilkan biokonsentrasi dihubungkan dengan persistensinya dan sifat lipofiliknya yang diukur melalui koefisien partisi n-oktanol air (POW) (Mangkoedihardjo, 2010). POW digunakan untuk mengetahui tendensi suatu zat, apakah ke air atau biota. Analisis BOD₅, COD dan POW digunakan untuk menentukan memperoleh status kualitas zat organik (*acceptable*, *biodegradable* dan *non-biodegradable*) terhadap hubungan antara BOD₅, COD dan POW pada konsentrasi dan golongan senyawa yang berbeda, yaitu alifatik dan aromatik. Dilakukan verifikasi hasil penelitian dengan uji toksisitas terhadap *Brachydanio rerio* (ikan zebra). *Brachydanio rerio* digunakan sebagai representasi organisme perairan tawar dalam uji toksisitas. *Brachydanio rerio* biasa digunakan dalam penelitian ekotoksikologi, karena biologi dan reproduksi ikan zebra (interval generasi pendek, interval pemijahan yang singkat) cocok sebagai ikan uji untuk penelitian toksikologi. (Meinelt *et al.*, 1999).

Zat organik yang digunakan dalam penelitian ini yaitu : Glukosa, Laktosa, Sukrosa, Formaldehid, Asam Asetat, dan Asam Oksalat. Hal ini

berdasarkan pada tingkat *exposure* dari enam zat organik yaitu Glukosa, Laktosa, Sukrosa, Formaldehid, Asam Asetat dan Asam Oksalat, karena sering digunakan sehingga banyak yang terbuang ke lingkungan. Glukosa merupakan sumber tenaga yang terdapat di mana-mana dalam biologi. Glukosa banyak digunakan terutama pada industri pangan. Laktosa merupakan sumber energi yang memasok hampir setengah dari keseluruhan kalori yang terdapat pada susu (35-45%). Selain itu, laktosa juga diperlukan untuk absorpsi kalsium. Sukrosa dalam pembuatan produk makanan berfungsi untuk memberi rasa manis dan dapat pula sebagai pengawet yaitu dalam konsentrasi yang tinggi dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme, dapat menurunkan aktifitas air dari bahan pangan (Buckel *et al.*, 1987). Formaldehida menjadi salah satu senyawa penting dalam industri kimia dikarenakan biaya produksi yang rendah namun memiliki kemurnian tinggi. Formaldehida juga digunakan dalam produk keperluan rumah tangga sehari-hari seperti bahan pembersih rumah, kertas, *shampoo*, *deodorant*, pasta gigi, *lipstick*, pewarna kuku, pestisida, dan sangat besar peranannya dalam pembuatan resin termoset yang keras (ATSDR, 1999). Asam asetat adalah senyawa kimia asam organik yang paling banyak dikonsumsi dan penting di perdagangan, industri, dan laboratorium dan dikenal sebagai pemberi rasa asam dan aroma dalam makanan. Asam oksalat digunakan dalam berbagai bidang industri, seperti manufaktur tekstil dan pengolahan permukaan logam, penyamakan kulit dan produksi kobalt. Sejumlah besar asam oksalat juga dikonsumsi dalam produksi agrokimia, farmasi dan turunan kimia lainnya (Othmer, 2007).

Menurut Mangkoedihardjo (2010), rasio BOD/COD tidak lebih dari sebuah indikator untuk dampak output dari zat organik yang berada pada air, limbah, lindi, kompos material- material lain yang serupa yang terjadi di lingkungan baik di lingkungan alam maupun di lingkungan buatan manusia. Biodegradabilitas sebagai rasio konsentrasi massa BOD/COD adalah kemampuan suatu zat untuk dipecah menjadi zat yang lebih sederhana oleh bakteri (Wang *et al.*, 2002). Kontaminan organik dalam air dan air limbah secara kolektif dinilai sebagai permintaan oksigen kimia (COD), dan permintaan oksigen biokimia (BOD). Ada beberapa konsensus mengenai stabilitas limbah dengan rasio BOD/COD kurang dari 0,1 untuk BOD kurang dari 100 mg L⁻¹ dan COD kurang

dari 1000 mg L⁻¹. Tingkat mutu air limbah organik dapat dirumuskan dalam spektra mutu zat organik (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010). Partisi dari mikropolutan ini memainkan peran utama dalam transportasi dan mobilitas mereka di lingkungan. Koefisien partisi telah diukur dalam banyak solvent sistem. Koefisien partisi oktanol air (POW) adalah koefisien yang paling banyak diterima. POW adalah koefisien partisi n-oktanol dan air, yang merepresentasikan rasio zat yang masuk ke dalam fasa organik karbon dan fasa air. Kelarutan, karakteristik serapan, dan biodegradabilitas organik telah secara empiris berkorelasi dengan partisi oktanol air. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sangster (2010), jelas bahwa partisi oktanol air (POW) menggambarkan sifat hidrofobik dan hidrofilik dari organik perairan. Log POW senyawa organik hidrofobik lebih besar dari dua (> 2) dan senyawa hidrofilik kurang dari dua (< 2) (Pradhan *et al.*, 2015). Oktanol merupakan zat kimia yang digunakan sebagai representasi biota menurut *European Standard*. Sampel perairan yang mengandung lebih dari satu senyawa organik juga dapat diidentifikasi sebagai hidrofobik dan hidrofobik pada basis dari KOW (Pradhan *et al.*, 2015). Partisi oktanol air dari beberapa senyawa organik telah tersedia dalam literatur (Turner dan Williamson, 2005; Mackay *et al.*, 2006; Pradhan *et al.*, 2015). Hubungan antara removal karbon organik terlarut di akuifer dengan partisi oktanol air telah didokumentasikan (Pradhan *et al.*, 2016). Namun, hubungan partisi oktanol air dengan BOD₅ dan COD belum pernah diteliti.

Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh status kualitas zat organik (*acceptable*, *biodegradable* dan *non-biodegradable*) terhadap hubungan antara BOD₅, COD dan POW pada konsentrasi dan golongan senyawa yang berbeda, yaitu alifatik dan aromatik. Beberapa hal yang akan diteliti adalah nilai BOD₅, COD, POW dan uji toksisitas zat menggunakan *Brachydanio rerio*.

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah penelitian berdasarkan pada tingkat *exposure* dari enam zat organik yaitu Glukosa, Laktosa, Sukrosa, Formaldehid, Asam Asetat dan Asam Oksalat, karena sering digunakan sehingga banyak yang terbuang. Perlu

dilakukan penelitian untuk menentukan status kualitas dari zat organik tersebut pada konsentrasi berbeda.

Perumusan masalah penelitian meliputi nilai BOD₅, COD dan POW dari enam zat organik tersebut. POW menunjukkan tendensi zat bergerak. Potensi suatu zat akan bergerak kemana, apakah air atau biota, dapat berbeda untuk status BOD₅ dan COD yang berbeda pula. Bagaimana hubungan antara BOD₅, COD terhadap POW untuk masing-masing zat. Bagaimana status kualitas zat organik tersebut pada konsentrasi serta golongan yang berbeda yaitu alifatik dan aromatik. Bagaimana verifikasi konsentrasi teoritis dengan uji toksisitas terhadap *Brachydanio rerio* (ikan zebra) dengan konsentrasi yang bervariasi.

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan status kualitas zat organik (*acceptable*, *biodegradable* dan *non-biodegradable*) dari enam jenis zat organik dari golongan alifatik dan aromatik, yaitu : Glukosa, Laktosa, Sukrosa, Formaldehid, Asam Asetat, dan Asam Oksalat.
2. Memperoleh hubungan antara rasio BOD/COD terhadap POW dari konsentrasi dan golongan zat organik yang berbeda, yaitu alifatik dan aromatik.
3. Melakukan verifikasi berdasarkan dari hasil analisis laboratorium dengan uji toksisitas LC₅₀-96h terhadap organisme *Brachydanio rerio* (ikan zebra).

Manfaat penelitian ini adalah menganalisis tendensi suatu zat akan bergerak kemana, apakah air atau biota, dapat berbeda untuk status BOD₅ dan COD yang berbeda pula. Memverifikasi konsentrasi teoritis yang diimplementasikan dengan uji toksisitas menggunakan terhadap *Brachydanio rerio* (ikan zebra).

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan – FTSP ITS.
2. Zat organik yang digunakan pada penelitian ini antara lain : Glukosa, Laktosa, Sukrosa, Formaldehid, Asam Asetat dan Asam Oksalat. Masing-masing dengan tiga konsentrasi berbeda yaitu 10 mg/l, 100 mg/l dan 1000 mg/l.
3. Variabel yang diuji meliputi jenis zat organik yaitu Glukosa, Laktosa, Sukrosa, Formaldehid, Asam Asetat, dan Asam Oksalat dengan konsentrasi masing-masing sebesar 10 mg/l, 100 mg/l dan 1000 mg/l, dilakukan tiga kali pengulangan.
4. Parameter yang dianalisa meliputi: BOD₅, COD dan POW.
5. Uji toksisitas menggunakan organisme *Brachydanio rerio* (ikan zebra) : 240 ekor. Tersusun atas 4 rangkaian seri. Masing-masing berisi 10 ekor ikan dengan tiga konsentrasi berbeda yaitu 10 mg/l, 100 mg/l, 1000 mg/l dan kontrol.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*).

Mutu air limbah ber kandungan zat organik dapat dinyatakan sebagai BOD dan COD. Kedua parameter tersebut merepresentasikan banyaknya variasi senyawa yang dapat dibentuk sejalan dengan perkembangan produksi senyawa organik. Sejalan dengan kompleksitas kuantitas, zat organik mempunyai kompleksitas mutu air limbah. Kompleksitas mutu zat organik dapat disederhanakan dalam tiga tingkatan berbasis proses mikrobial. Pertama adalah tingkat toksisitas zat organik terhadap mikroba. Kedua adalah tingkat biodegradabilitas zat organik oleh mikroba. Ketiga adalah tingkat stabilitas zat organik oleh mikroba. Tingkatan mutu zat organik berbasis proses microbial adalah sejalan dengan pengukuran zat organik air limbah melalui pengukuran kebutuhan oksigen microbial (BOD) dan kebutuhan oksigen kimiawi (COD). BOD (*Biological Oxygen Demand*) adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau miligram/liter (mg/l) yang diperlukan untuk menguraikan benda organik oleh bakteri, sehingga limbah tersebut menjadi jernih kembali. Untuk itu semua diperlukan waktu 100 hari pada suhu 200°C. akan tetapi, di laboratorium dipergunakan waktu lima hari sehingga dikenal sebagai BOD₅. Sedangkan COD (*Chemical Oxygen Demand*) adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau miligram per liter yang dibutuhkan dalam kondisi khusus untuk menguraikan benda organik secara kimiawi (Sugiharto, 2008). Tingkat penurunan oleh mikroba dapat dievaluasi dengan rata-rata hasil bagi biodegradabilitas yang terukur sebagai rasio BOD/COD. Rasio ini merupakan indikator yang umum digunakan pada derajat biodegradasi air limbah (Mangkoedihardjo, 2010). Sebagaimana disebutkan oleh Srinivas (2008) tentang *biodegradability index* (Tabel 2.1).

Tabel 2.1 *Biodegradability* Indeks

Nilai Rasio BOD/COD	Biodegradability
> 0,9	<i>acceptable</i>
0,3 – 0,6	<i>biodegradable</i>
< 0,3	<i>non-biodegradable</i>

Sumber : Srinivas, 2008

Rasio BOD/COD yang tinggi cukup dipertimbangkan untuk memastikan biodegradasi. Selama air limbah terdegradasi, konsentrasi kedua pengukuran turun. Sejak BOD melemah lebih cepat dari rasio COD yang dapat mendekati nol. Ada beberapa kondenssus mengenai stabilitas limbah dengan rasio BOD/COD kurang dari 0,1 untuk BOD kurang dari 100 mg L⁻¹ dan COD kurang dari 1000 mg L⁻¹. Zona *non-biodegradable* merupakan batas bahan organik yang berpotensi memiliki efek buruk terhadap organisme hidup. Organisme hidup terdiri dari mikroba, tanaman dan hewan akuatik. Zona *biodegradable* merupakan batas bahan organik yang dapat diuraikan oleh mikroba pada kondisi pengolahan alami dan buatan. Zona *acceptable* merupakan batas bahan organik yang dapat dibuang dengan aman di lingkungan tanpa efek yang signifikan pada kualitas lingkungan secara keseluruhan.

Untuk memastikan perawatan lebih lanjut berjalan dengan baik di berbagai kondisi proses untuk BOD dan COD pada zona toksik sebagai berikut :

- Rasio BOD/COD maksimum adalah 0,10
- Konsentrasi BOD minimum adalah 10 mg/L untuk budidaya perairan (akuakultur), 100 mg/L untuk mikroba dan fitotreatment, 50.000 mg/L untuk pengolahan alami.
- Konsentrasi COD minimum adalah 50 mg/L untuk budidaya perairan (akuakultur), 500 mg/L untuk mikroba dan fitotreatment, 100.000 mg/L untuk pengolahan alami.

Untuk memastikan perawatan lebih lanjut berjalan dengan baik di berbagai kondisi proses untuk BOD dan COD pada zona *biodegradable* sebagai berikut :

- Batasan rasio BOD/COD diantara 0,10 – 1,0. Zona ini disegmentasi menjadi beberapa tingkatan seperti rendah, moderat dan biodegradabel tinggi yang membutuhkan penelitian lebih lanjut.
- Konsentrasi BOD maksimum adalah 10 mg/L untuk budidaya perairan (akuakultur), 100 mg/L untuk mikroba dan fitotreatment, 50.000 mg/L untuk pengolahan alami.
- Konsentrasi COD maksimum adalah 50 mg/L untuk budidaya perairan (akuakultur), 500 mg/L untuk mikroba dan fitotreatment, 100.000 mg/L untuk pengolahan alami.

Dalam zona *acceptable/stable in zone*, bahan organik dapat mengalami dekomposisi pada kecepatan lambat dan akhirnya menghentikan apa yang disebut zona stabil.

Strategi penanganan mutu air limbah, tahap pertama adalah identifikasi tingkat toksisitas dan dianggap bersifat toksik. Pengaliran air limbah toksik ke lingkungan membawa konsekuensi persistensi pencemaran. Oleh karena itu tahap kedua adalah peningkatan biodegradabilitas untuk memungkinkan penguraian zat organik secara mikrobial. Tahap ketiga adalah kelanjutan proses mikrobial untuk mencapai stabilitas air limbah (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010).

Biodegradabilitas sebagai rasio konsentrasi massa BOD/COD adalah kemampuan suatu zat untuk dipecah menjadi zat yang lebih sederhana oleh bakteri (Wang *et al.*, 2002). Rasio BOD /COD kurang dari 0,10 mengungkapkan adanya COD yang sulit didegradasi. Beberapa molekul organik non-biodegradable seperti asam humat dan fulvat pada lindi TPA juga dicirikan oleh kandungan garam terlarut yang sangat tinggi, terutama klorida, natrium, karbonat dan ammonium (Martinen *et al.*, 2002). Molekul organik tersebut berkontribusi pada rasio BOD/COD yang rendah untuk zona toksik. Kualitas air limbah dapat ditentukan dengan parameter *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh organisme hidup untuk mendegradasi bahan-bahan pencemar yang ada di dalam air. Nilai BOD digunakan untuk mengukur secara relatif jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi atau mendegradasi bahan-bahan pencemar yang ada di dalam air.

Jika konsumsi oksigen semakin tinggi yang ditunjukkan dengan semakin kecilnya jumlah sisa oksigen terlarut, maka kandungan bahan-bahan pencemar di dalam air membutuhkan jumlah oksigen yang tinggi. Parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD) juga dapat digunakan untuk menentukan kualitas air limbah. COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan agar bahan-bahan pencemar yang ada di dalam air dapat teroksidasi atau terurai melalui reaksi kimia (Wardhana, 2004). Uji COD pada umumnya menghasilkan nilai kebutuhan oksigen yang lebih besar daripada uji BOD, karena bahan-bahan pencemar yang stabil terhadap reaksi biologi dan mikroorganisme dapat ikut teroksidasi dalam uji COD (Srikandi, 1992). Nilai BOD yang tinggi tidak hanya menimbulkan masalah dengan kualitas air, akan tetapi juga menimbulkan masalah aroma busuk yang sangat menyengat.

Menurut Slamet (2000), kadar BOD yang tinggi akan mengancam kehidupan biota air karena turunnya kadar oksigen dalam air serta akan menjadi media distribusi penyakit. Secara umum, parameter BOD banyak digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran air buangan (Salmin, 2005). *Biological Oxygen Demand* (BOD) erat kaitannya dengan suhu dan *Dissolved Oxygen* (DO). Apabila suhu tinggi, maka nilai DO akan berkurang. Sedangkan apabila suhu sedang, maka nilai DO akan normal. Namun, apabila nilai DO rendah, maka kebutuhan oksigen yang dibutuhkan oleh BOD akan terganggu dan proses pemecahan bahan-bahan pencemar organik dalam air tidak berjalan secara optimal. BOD membutuhkan DO dalam air untuk mendegradasi bahan-bahan pencemar organik di dalam air. Semakin tinggi nilai BOD yang dihasilkan, maka semakin banyak bahan-bahan pencemar yang ada di dalam air (Wardhana, 2004).

Nilai COD menunjukkan kadar oksigen terlarut yang dibutuhkan untuk menguraikan atau mendegradasikan zat organik tertentu secara kimia karena sukar dihancurkan secara biologis. Nilai COD meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan bahan organik dalam perairan (Yusuf dan Handoyo, 2004). Perbedaan reaksi penguraian BOD dan COD adalah apabila BOD menggunakan mikroorganisme serta membutuhkan waktu yang cukup lama, sedangkan COD menggunakan reaksi kimia serta membutuhkan waktu yang relatif lebih singkat. Semakin tinggi limbah yang terdapat di kolam baik berupa organik dan anorganik maka oksigen yang dibutuhkan semakin banyak.

Rasio BOD/COD mengindikasikan biodegradabilitas dari air buangan, semakin tinggi rasio maka semakin rendah biodegradabilitas dari air buangan (Papadopoulos *et al.*, 2001). Menurut Mangkoedihardjo (2010), rasio BOD/COD tidak lebih dari sebuah indikator untuk dampak *output* dari zat organik yang berada pada air, limbah, lindi, kompos material- material lain yang serupa yang terjadi di lingkungan baik di lingkungan alam maupun di lingkungan buatan manusia. Rasio BOD/COD terbagi menjadi tiga zona di dalam perairan yaitu zona stabil, zona *biodegradable*, dan zona toksik. Rasio BOD/COD yang baik digunakan untuk untuk budidaya serta proses biologis berada di dalam *range biodegradable* yaitu 0,2 - 0,5 (Mangkoedihardjo, 2010). Rasio BOD/COD antara 0,2 - 0,5 dapat mendegradasi bahan-bahan pencemar dengan proses biologis, akan tetapi proses dekomposisinya berjalan lebih lambat karena mikroorganisme pengurai membutuhkan aklimatisasi dengan limbah tersebut (Fresenius *et al.*, 1989). Perbandingan BOD dan COD yang sangat rendah yaitu $< 0,01$ menunjukkan bahwa bahan-bahan pencemar organik yang masuk bersifat sukar terurai (*persistent/non- biodegradable*).

2.2 Partisi Oktanol Air

Koefisien partisi tiap zat adalah tetap sesuai dengan sifat alamiah zat itu sendiri. (Mangkoedihardjo *et al.*, 2005). Koefisien partisi n-oktanol dan air (POW) merepresentasikan rasio zat yang masuk ke dalam fasa organik karbon dan fasa air. Tendensi zat untuk menghasilkan biokonsentrasi dihubungkan dengan persistensinya dan sifat lipofiliknya (lebih suka lipid/lemak) daripada air. Sifat lipofilik zat diukur melalui koefisien partisi n-oktanol air (POW), yang diformulasikan sebagai berikut :

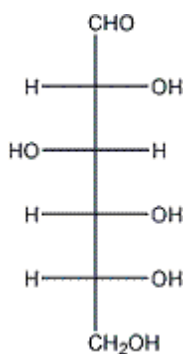
$$POW = [\text{zat dalam oktanol}] / [\text{zat dalam air}]$$

Metode uji partisi adalah pelarutan sejumlah zat (misalnya C) kedalam larutan campuran oktanol (5 ml) dan air (5 ml) dalam tabung-tabung reaksi. Tabung-tabung reaksi dikocok menggunakan *shaker* selama 1 jam– 1 hari untuk pencampuran homogen. Selanjutnya dilakukan pemisahan larutan menggunakan *centrifuge*. Cuplikan air dapat diambil untuk analisis kandungan zat (misalnya didapat c) dan diperoleh hasil POW (sebesar $[C-c]/[c]$) (Mangkoedihardjo, 2010).

Semakin besar nilai P maka semakin banyak senyawa dalam pelarut organik. Nilai P suatu senyawa tergantung pada pelarut organik tertentu yang digunakan untuk melakukan pengukuran. Beberapa pengukuran koefisien partisi dilakukan dengan menggunakan partisi air dan *n*-oktanol, karena *n*-oktanol dalam banyak hal menyerupai membran biologis, dan juga merupakan model yang baik pada kromatografi fase terbalik. Nilai P seringkali dinyatakan dengan nilai $\log P$. Sebagai contoh nilai $\log P$ setara dengan nilai P . Nilai $P = 10$ merupakan nilai P untuk senyawa tertentu yang mengalami partisi ke dalam pelarut organik tertentu. Partisi dilakukan dengan air dan pelarut organik dalam jumlah yang sama. $P = 10$ berarti bahwa 10 bagian senyawa berada dalam lapisan organik dan 1 bagian berada dalam lapisan air (Gandjar *et al.*, 2007).

2.3 Glukosa

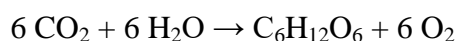
Glukosa dengan rumus $C_6H_{12}O_6$, memiliki gugus aldehida, $-CHO$ yang terikat pada atom C nomor satu. Gugus aldehida selalu terdapat pada atom C nomor satu, karena satu elektron valensinya telah berikatan dengan atom H membentuk satu ikatan kovalen dan dua elektron valensinya berikatan dengan atom O membentuk sebuah ikatan rangkap. Kelima atom C yang lain masing-masing mengandung gugus hidroksil, $-OH$. Glukosa memiliki atom C kiral, yaitu atom C asimetris. Atom C ini keenam elektron valensinya mengikat atom atau gugus yang berbeda. Glukosa adalah sumber energi utama bagi tubuh. Hormon yang mempengaruhi kadar glukosa adalah insulin dan glukagon yang berasal dari pankreas. Insulin dibutuhkan untuk permeabilitas membran sel terhadap glukosa dan untuk transportasi glukosa ke dalam sel (Joyce, 2013). Glukosa merupakan suatu aldohexosa, disebut juga dekstrosa karena memutar bidang polarisasi ke kanan. Glukosa merupakan komponen utama gula darah, menyusun 0,065-0,11% darah kita. Glukosa dapat terbentuk dari hidrolisis pati, glikogen, dan maltosa. Glukosa sangat penting bagi kita karena sel tubuh kita menggunakannya langsung untuk menghasilkan energi. Glukosa dapat dioksidasi oleh zat pengoksidasi lembut seperti pereaksi Tollens sehingga sering disebut sebagai gula pereduksi (Budiman, 2009).



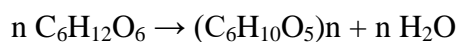
Gambar 2.1. Struktur Glukosa (Joyce, 2013).

Glukosa, suatu gula monosakarida, karbohidrat terpenting yang digunakan sebagai sumber tenaga utama dalam tubuh. Glukosa merupakan prekursor untuk sintesis semua karbohidrat lain di dalam tubuh seperti glikogen, ribose dan deoksiribose dalam asam nukleat, galaktosa dalam laktosa susu, dalam glikolipid, dan dalam glikoprotein dan proteoglikan (Murray *et al.*, 2006).

Di alam, glukosa dihasilkan dari reaksi antara karbondioksida dan air dengan bantuan sinar matahari dan klorofil dalam daun. Proses ini disebut fotosintesis dan glukosa yang terbentuk terus digunakan untuk pembentukan amilum atau sukrosa.



Amilum terbentuk dari glukosa dengan jalan penggabungan molekul-molekul glukosa yang membentuk rantai lurus maupun bercabang dengan melepaskan molekul air.



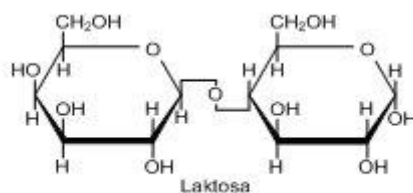
Karbohidrat yang berada dalam makanan berupa polimer heksana yaitu glukosa, galaktosa dan fruktosa masuk melalui dinding usus halus kedalam aliran darah, kemudian fruktosa dan galaktosa akan diubah di dalam tubuh menjadi glukosa. Glukosa tersebut merupakan hasil akhir dari pencernaan dan diabsorpsi secara keseluruhan menjadi karbohidrat. Kadar glukosa yang terdapat di dalam darah bervariasi tergantung dari daya penyerapan. Peningkatan kadar glukosa terjadi setelah makan dan penurunan kadar glukosa terjadi jika tidak ada makanan yang masuk selama beberapa jam. Glukosa disimpan sebagai glikogen

di dalam hati oleh insulin yang merupakan suatu hormon yang disekresikan oleh pankreas. Apabila hormon insulin yang tersedia kurang dari kebutuhan maka gula darah akan menumpuk pada sirkulasi darah sehingga glukosa pada darah akan meningkat (Tambayong, 2009).

2.4 Laktosa

Laktosa merupakan disakarida yang terdiri dari glukosa dan galaktosa (Solomons, 2002). Laktosa adalah komponen utama yang terdapat pada air susu ibu dan susu sapi. Laktosa tersusun dari molekul β -D-galaktosa dan α -D-glukosa yang dihubungkan oleh ikatan 1,4'- β . Laktosa merupakan sumber energi yang memasok hampir setengah dari keseluruhan kalori yang terdapat pada susu (35-45%). Selain itu, laktosa juga diperlukan untuk absorpsi kalsium. Laktosa dapat difermentasi oleh bakteri *streptococcus lactis* menjadi asam laktat. Selain itu juga jika laktosa ini dipanaskan sampai suhu 175°C akan berbentuk laktokaramel. Keberadaan laktosa sebagai karbohidrat utama yang terdapat di susu mamalia, termasuk ASI, merupakan hal yang unik dan penting (Sinuhaji, 2006).

Laktosa mempunyai sifat mereduksi dan mutarotasi. Biasanya laktosa mengkristal dalam bentuk α . Dalam susu terdapat laktosa yang sering disebut gula susu. Pada wanita yang sedang dalam masa laktasi atau masa menyusui, laktosa kadang-kadang terdapat dalam urine dengan konsentrasi yang sangat rendah. Di bandingkan terhadap glukosa, laktosa mempunyai rasa yang kurang manis. Laktosa yang merupakan disakarida terdiri dari gugus galaktose dan glukosa akan dihidrolisa dengan bantuan enzim laktase menghasilkan monosakarida yaitu galaktosa dan glukosa (Intanwati, 2012).

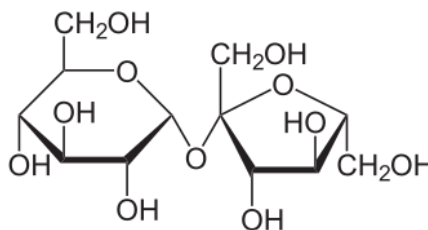


Gambar 2.2 Struktur Laktosa (Solomons, 2002).

2.5 Sukrosa

Sukrosa merupakan disakarida yang tersusun atas sebuah α -D-glucopyranosil dan β -D-fructofuranosyl yang berikatan antar ujung reduksinya. Sukrosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$) membentuk kristal keras anhydrous dalam bentuk monoklin, yang mempunyai tiga sumbu asimetris berbeda panjangnya. Mempunyai densitas 1,606 g/cm³, berat molekul 342, berat jenis 1,033 sampai 1,106 (Tranggono *et al.*, 1990). Sukrosa terbentuk melalui proses fotosintesis yang ada pada tumbuh-tumbuhan. Pada proses tersebut terjadi interaksi antara karbon dioksida dengan air didalam sel yang mengandung klorofil (Kuswurj, 2011).

Pada gula pasir mempunyai kandungan gula reduksi sebanyak 1,24% sedangkan kandungan sukrosa adalah 97,10%. Sukrosa mempunyai sifat sedikit higroskopis dan mudah larut dalam air. Semakin tinggi suhu, kelarutannya semakin besar. Menurut Tranggono (1990) satu gram sukrosa dapat larut dalam 0,5 ml air pada suhu kamar/ 0,2 ml dalam air mendidih, dalam 170 ml alkohol/ 100 ml methanol. Kristal sukrosa bersifat stabil di udara terbuka dan dalam keadaan yang langsung berhubungan dengan udara dapat menyerap air sebanyak 1% dari total berat dan akan dilepaskan kembali apabila dipanaskan pada suhu 90°C.



Gambar 2.3 Struktur Sukrosa (Kuswurj, 2011).

Kristal sukrosa mempunyai sistem monoklin dan bentuknya sangat bervariasi. Kemurnian sukrosa mempengaruhi bentuk dan keadaan badan kristal, sukrosa murni tidak berwarna dan transparan. Sukrosa mudah larut dalam air dan dipengaruhi oleh zat lain yang terlarut dalam air serta sifat zat tersebut. Semakin tinggi suhu dan jumlah garam terlarut dalam air maka semakin tinggi pula jumlah sukrosa yang dapat terlarut, terutama garam yang mengandung nitrogen, seperti protein dan asam amino (Kuswurj, 2011).

Sukrosa adalah disakarida yang mempunyai peranan penting dalam pengolahan makanan dan banyak terdapat pada tebu, bit, siwalan, dan kelapa kopyor. Sukrosa memiliki peranan yang penting dalam industri makanan dan minuman. Selain sebagai bahan pemanis, gula juga merupakan pengawet. Daya larut gula yang tinggi dengan kemampuan mengurangi keseimbangan kelembaban relatif dan mengikat air adalah sifat-sifat yang menyebabkan gula dipakai dalam pengawetan bahan pangan atau hasil olahannya. Peranan sukrosa yang lainnya adalah dapat menyempurnakan rasa manis dan cita rasa lain, memberikan rasa berisi karena dapat meningkatkan kekentalan, dapat membantu transfer panas selama proses, mengisi ruang kosong antara buah yang satu dengan yang lainnya, dan dapat memberikan perbaikan aroma bagi bahan yang diawetkan.

Mekanisme larutan gula dalam menghambat pertumbuhan mikroba adalah dengan cara mendehidrasi bakteri atau khamir melalui proses osmosis dimana air dari dalam sel mikroba tersedot ke luar ke larutan gula sehingga sel mikroba mengalami penciutan. Sukrosa dalam pembuatan produk makanan berfungsi untuk memberi rasa manis dan dapat pula sebagai pengawet yaitu dalam konsentrasi yang tinggi dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme, dapat menurunkan aktifitas air dari bahan pangan (Buckle *et al.*, 1987).

2.6 Formaldehida

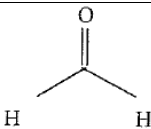
Senyawa kimia formaldehida merupakan aldehida yang mempunyai gugus fungsional karbonil yang terikat pada rantai karbon di satu sisi dan atom hidrogen di sisi yang lain. Formaldehida mempunyai beragam nama, diantaranya dikenal juga sebagai *formol*, *morbicid*, *methanal*, *formic aldehyde*, *methyl oxide*, *oxymethylene*, *methylene aldehyde*, *oxomethane*, *formoform*, *formalth*, *karsan*, *methylene glycol*, *paraforin*, *polyoxymethylene glycols*, *superlysoform*, *tetraoxymethylene*, dan *trioxane* (BPOM, 2015).

Formaldehida terdapat secara *endogenous* pada bahan pangan. Fomaldehida merupakan komponen penting dalam sistem biologis yaitu diperlukan untuk mensintesis senyawa organik. Formaldehida juga merupakan senyawa aldehid alifatik yang bersifat paling reaktif. Formaldehida cenderung mengikat residu asam amino tunggal. Reaksi antara formaldehida dan protein

terdiri dari tiga tipe yang terjadi pada suhu 38⁰C dan pH 7. Reaksi tersebut meliputi reaksi yang bersifat reversibel, *acid labile* dan *acid resistant* (Sotelo *et al.*, 1995).

Dalam air, formaldehida mengalami polimerisasi dan sedikit sekali yang ada dalam bentuk monomer H₂CO. Umumnya, larutan ini mengandung beberapa persen metanol untuk membatasi polimerisasinya. Formaldehida memiliki sifat mudah larut dalam air, sangat reaktif dalam suasana alkalis, serta bersifat sebagai pereduksi yang kuat. Formaldehida dapat dioksidasi dalam atmosfer menjadi asam format, oleh karena itu larutan formaldehida harus ditutup dan diisolasi supaya tidak kemasukan udara (NIOSH, 2007).

Tabel 2.2 Karakteristik Formaldehida

Nama	Formaldehid, metanal, metil aldehyd, metilen oksida
Struktur	
Rumus Kimia	H ₂ CO
Berat Molekul	30,03
Titik Leleh	-118 sampai -92 ⁰ C
Titik Didih	-21 sampai -19 ⁰ C
Triple Point	1551,1 K (-118,0 ⁰ C)
Densitas	1,13 x 10 ³ kg/m ³
Tekanan Uap (Pa, 25⁰C)	5,16 x 10 ⁵
Kelarutan (mg/l, 25⁰C)	400000-550000

Sumber : WHO, 2002

Formaldehida menjadi salah satu senyawa penting dalam industri kimia dikarenakan biaya produksi yang rendah namun memiliki kemurnian tinggi. Formaldehida diproduksi dengan menggunakan senyawa metanol memanfaatkan reaksi oksidasi katalitik. Formaldehida digunakan dalam produk keperluan rumah tangga sehari-hari seperti bahan pembersih rumah, kertas, *shampoo*, *deodorant*, pasta gigi, *lipstick*, pewarna kuku, pestisida, dan sangat besar peranannya bersama

senyawa asam oksalat dan urea dalam pembuatan resin termoset yang keras (ATSDR, 1999).

Formaldehida merupakan senyawa multifungsi. Formaldehida sering digunakan sebagai desinfektan dan bahan pengawet mayat. Hal ini dikarenakan sifatnya yang efektif melawan spora bakteri. Formaldehida bereaksi dengan protein dan hal tersebut mengurangi aktivitas mikroorganisme. Sifat antimikrobia dari formaldehida merupakan hasil dari kemampuannya menginaktivasi protein dengan cara mengondensasi dengan asam amino bebas dalam protein menjadi hidrokoloid (Cahyadi, 2008). Larutan formaldehida 0,5% dalam waktu 6-12 jam dapat membunuh bakteri dan dalam waktu 2-4 hari dapat membunuh spora, sedangkan larutan formaldehida 8% dapat membunuh spora dalam waktu 18 jam (WHO, 2002).

Tanpa sadar manusia dapat dengan mudah terpapar formaldehida dalam kehidupan sehari-hari. Kontak dengan formaldehida berasal dari pakaian, materi yang digunakan dalam pembangunan rumah dan udara. Formaldehid juga berasal dari makanan seperti gorengan, minyak dan lain-lain. Beberapa perkakas rumah tangga seperti yang berbahan kayu menguapkan formaldehida saat masih baru. Formaldehida juga dihasilkan dari proses fotokimia di udara. Adapun pengaruh formaldehida terhadap kesehatan manusia dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Pengaruh Formaldehida Terhadap Kesehatan Manusia

Pengaruh bagi kesehatan	Konsentrasi formaldehida (ppm)
Tidak ada pengaruh	0,05
Ambang batas bau (<i>odor threshold</i>)	0,05 – 1,0
Iritasi mata	0,01 – 2,0
Iritasi dan kesulitan pernafasan	0,1 – 25
Kerusakan kronis paru-paru	5 – 30
<i>Pulmonary edema, inflammation, pneumonia</i>	50 – 100

*Iritasi mata pada 0,01 ppm terjadi karena paparan formaldehida dan polutan yang lain.

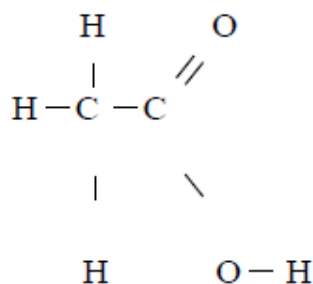
Sumber : MFL Inc, 2004

Formaldehida dapat secara alami terkandung dalam tubuh karena proses metabolisme biologis. Pada jaringan darah, level formaldehida endogenous yang dapat dihasilkan secara metabolik adalah 3-12 mg/g jaringan. Formaldehida yang

diasup secara oral akan diserap oleh saluran gastrointestinal. Formaldehida yang diinhalasi akan diserap oleh saluran pernafasan bagian atas tetapi tidak didistribusikan ke seluruh tubuh karena adanya proses detoksifikasi sehingga dimetabolisme secara cepat (Heck *et al.*, 1985).

2.7 Asam Asetat

Nama asam asetat berasal dari kata Latin asetum, “*vinegar*”. Asam asetat, asam etanoat atau asam cuka adalah senyawa kimia asam organik yang merupakan asam oksalat yang paling penting di perdagangan, industri, dan laboratorium dan dikenal sebagai pemberi rasa asam dan aroma dalam makanan. Asam cuka memiliki rumus kimia $\text{CH}_3\text{-COOH}$, CH_3COOH , atau $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$.



Gambar 2.4 Struktur Asam Asetat(Hewitt, 2003).

Bentuk murni dari asam asetat ialah asam asetat glacial. Asam asetat glacial mempunyai ciri-ciri tidak berwarna, mudah terbakar (titik beku 17°C dan titik didih 118°C) dengan bau menyengat, dapat bercampur dengan air dan banyak pelarut organik. Dalam bentuk cair atau uap, asam asetat glacial sangat korosif terhadap kulit dan jaringan lain suatu molekul asam asetat mengandung gugus –OH dan dengan sendirinya dapat membentuk ikatan hidrogen dengan air. Karena adanya ikatan hidrogen ini, maka asam asetat yang mengandung atom karbon satu sampai enam dan dapat bercampur dengan air (Hewitt, 2003).

Asam asetat merupakan asam lemah yang terionisasi sebagian dalam air, walaupun demikian, keasaman asam asetat tetap lebih tinggi dibanding dengan keasaman air (Kohar, 2004). Asam asetat atau lebih dikenal sebagai asam cuka (CH_3COOH) adalah suatu senyawa berbentuk cairan, tak berwarna, berbau menyengat, memiliki rasa asam yang tajam dan larut di dalam air, alkohol, gliserol, dan eter. Pada tekanan atmosferik, titik didihnya $118,1^\circ\text{C}$. Asam asetat

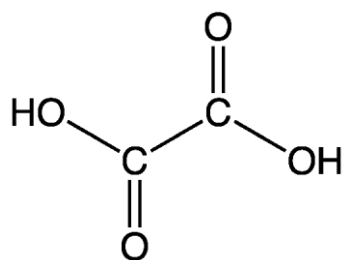
mempunyai aplikasi yang sangat luas di bidang industri dan pangan. Di Indonesia, kebutuhan asam asetat masih harus di import, sehingga perlu diusahakan kemandirian dalam penyediaan bahan (Hardoyo *et al.*, 2007).

Asam asetat adalah asam lemah monoprotik basa konjugasinya adalah asetat (CH_3COO^-). Asam asetat adalah pelarut protik hidrofilik (polar), mirip seperti air dan etanol. Asam asetat bercampur dengan mudah dengan pelarut polar atau nonpolar lainnya seperti air, kloroform dan heksana. Sifat kelarutan dan kemudahan bercampur dari asam asetat ini membuatnya digunakan secara luas dalam industri kimia dan laboratorium. Asam asetat termasuk asam organik yang dapat dibuat dengan banyak cara, enam diantaranya yaitu : oksidasi alkohol primer atau aldehyd, oksidasi rantai samping alkil pada cincin aromatik, dengan karbon dioksida, dan hidrolisis alkil sianida (nitril) (Hart *et al.*, 2003).

Asam asetat pekat bersifat korosif, sehingga harus digunakan dengan penuh hati-hati. Asam asetat dapat menyebabkan luka bakar, kerusakan mata permanen, serta iritasi pada membran mukosa (Setiawan, 2007). Asam asetat encer, seperti pada cuka, tidak berbahaya, namun konsumsi asam asetat yang lebih pekat adalah berbahaya bagi manusia maupun hewan, karena dapat menyebabkan kerusakan pada sistem pencernaan, dan perubahan yang mematikan pada keasaman darah. Asam asetat dalam cuka secukupnya dilarutkan sehingga tidak korosif, walaupun demikian, jika terus menerus makan makanan yang mengandung cuka akan dapat merusak email gigi (Hewitt, 2003).

2.8 Asam Oksalat

Asam oksalat digunakan dalam berbagai bidang industri, seperti manufaktur tekstil dan pengolahan permukaan logam, penyamakan kulit dan produksi kobalt. Sejumlah besar asam oksalat juga dikonsumsi dalam produksi agrokimia, farmasi dan turunan kimia lainnya. Asam oksalat mengandung 2 gugus karboksil yang terletak pada ujung-ujung rantai karbon yang lurus yang mempunyai rumus molekul $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$, tidak berbau, higroskopis, berwarna putih sampai tidak berwarna dan mempunyai berat molekul 90 gr/mol (Othmer, 2007).



Gambar 2.5 Struktur Asam Oksalat (Othmer, 2007)

Asam oksalat merupakan salah satu bahan baku yang dibutuhkan pada industri sebagai bahan pelapis yang melindungi logam dari kerak, bahan peledak, bahan pembuatan zat warna, bahan analisa laboratorium, bahan dalam industri lilin, dan bahan kimia dalam fotografi. Asam oksalat berupa kristal putih, mempunyai massa molar 90.03 g/mol (anhidrat) dan 126.07 g/mol (dihidrat). Kepadatan dalam fase 1,90 g/cm³ (anhidrat) dan 1.653 g/cm³ (dihidrat). Mempunyai kelarutan dalam air 9,5 g/100 mL (15°C), 14,3 g/100 mL (25°C), 120 g/100 mL (100°C) dan mempunyai titik didih 101-102°C (dihidrat). Asam oksalat merupakan asam dikarboksilat yang mempunyai berat molekul rendah, berwujud padat serta berbentuk kristal, asam oksalat akan mengurai menjadi asam format dan karbondioksida. Jika dipanaskan di atas suhu 175°C. Pada penggunaan di laboratorium, asam oksalat digunakan pada titrasi. (Horizon. 2011).

Asam oksalat dapat ditemukan dalam bentuk bebas ataupun dalam bentuk garam. Kedua bentuk asam oksalat tersebut terdapat baik dalam bahan nabati maupun hewani. (Noonan dan Savage, 1999). Asam oksalat terdistribusi secara luas dalam bentuk garam pottasium dan kalsium yang terdapat pada daun, akar dan rhizoma dari berbagai macam tanaman. Asam oksalat juga terdapat pada air kencing manusia dan hewan dalam bentuk garam kalsium yang merupakan senyawa terbesar dalam ginjal. Kelarutan asam oksalat dalam etanol pada suhu 15,6°C dan etil eter pada suhu 25°C adalah 23,7 g/100 g solvent dan 1,5 g/100 g solvent. Makanan yang banyak mengandung asam oksalat adalah coklat, kopi, *strawberry*, kacang dan bayam (Lehninger. 1984).

2.9 Uji Toksisitas *Lethal Concentration 50* (LC₅₀)

Uji toksisitas merupakan uji hayati yang berguna untuk menentukan tingkat toksisitas dari suatu zat atau bahan pencemar dan digunakan juga untuk

pemantauan rutin suatu limbah. Suatu senyawa kimia dikatakan bersifat “racun akut” jika senyawa tersebut dapat menimbulkan efek racun dalam jangka waktu singkat. Suatu senyawa kimia disebut bersifat “racun kronis” jika senyawa tersebut dapat menimbulkan efek racun dalam jangka waktu panjang (karena kontak yang berulang-ulang walaupun dalam jumlah yang sedikit) (Pradipta *et al.*, 2007).

Ada tiga cara utama bagi senyawa kimia untuk dapat memasuki tubuh, yaitu : Melalui paru-paru (pernafasan), mulut, dan kulit. Melalui ketiga rute tersebut, senyawa yang bersifat racun dapat masuk ke aliran darah, dan kemudian terbawa ke jaringan tubuh lainnya. Yang menjadi perhatian utama dalam toksisitas adalah kuantitas/dosis senyawa tersebut. Sebagian besar senyawa yang berada dalam bentuk murninya memiliki sifat racun (toksik).

Lethal Concentration 50 (LC50) yaitu konsentrasi yang menyebabkan kematian sebanyak 50% dari organisme uji yang dapat diestimasi dengan grafik dan perhitungan, pada suatu waktu pengamatan tertentu, yaitu LC50 96 jam sampai waktu hidup hewan uji (Rossiana, 2006). *Lethal Concentration 50* atau biasa disingkat LC 50 adalah suatu perhitungan untuk menentukan keaktifan dari suatu senyawa atau ekstrak. Makna LC 50 adalah pada konsentrasi berapa zat organik dapat mematikan 50 % dari organisme uji, yaitu *Brachydanio rerio*.

Menurut tingkat toksisitas dari senyawa dapat ditentukan dengan melihat harga LC50-nya. Apabila harga LC50 lebih kecil dari 1000 µg/ml dikatakan toksik, sebaliknya apabila harga LC50 lebih besar dari 1000 µg/ml dikatakan tidak toksik. Tingkat toksisitas tersebut akan memberi makna terhadap potensi aktivitasnya sebagai antitumor. Semakin kecil harga LC50 semakin toksik suatu senyawa (Meyer *et al.*, 1982).

2.10 Ikan Zebra (*Brachydanio rerio*)

Brachydanio rerio merupakan jenis ikan tropis berukuran kecil yang banyak ditemukan di negara India dan Asia Selatan. Hingga saat ini, *Brachydanio rerio* telah digunakan sebagai organisme model untuk pengembangan berbagai model penyakit, studi toksikologi, studi neurobiologi, gangguan-gangguan metabolisme, dan pengembangan genetika. Beberapa keunggulan dari

penggunaan *Brachydanio rerio* antara lain memiliki sensitivitas lebih tinggi dibanding ikan lainnya, waktu pemijahan yang relatif singkat, mekanisme adaptasi terhadap lingkungan, naluri yang cukup bervariasi, pola sirkadian, dan berbagai macam mekanisme adaptasi lainnya. Secara genetika, *Brachydanio rerio* juga memiliki persamaan gen yang menyerupai manusia. Persamaan gen ini merupakan proses evolusi yang terjadi selama ratusan juta tahun yang lalu. Sebagai tambahan, *Brachydanio rerio* juga memiliki persamaan-persamaan lainnya dengan manusia antara lain yaitu pada sistem saluran pencernaan, jaringan adiposa visceral, sistem otot rangka, dan sistem organ lainnya (Yuniarto *et al.*, 2017).

Tabel 2.4 Sistematika Ikan Zebra (*Brachydanio rerio*)

Filum :	Chordata
Kelas :	Actynopterygii
Ordo :	Cypriniformes
Famili :	Cyprinidae
Genus :	<i>Brachydanio</i>
Spesies :	<i>Brachydanio rerio</i>

Sumber : Eschmeyer, 1990.

Brachydanio rerio mempunyai warna tubuh biru dengan garis-garis berwarna putih kekuningan dan hitam yang berawal dari pangkal ekor sampai operkulum. Di alam, *Brachydanio rerio* dapat mencapai panjang 5 cm, tetapi di akuarium sangat sulit untuk mencapai ukuran tersebut. Zebra danio tersebar dari India sampai Asia Tenggara terutama Indonesia dan menyukai daerah yang bersuhu dingin (Axelrod *et al.*, 1997). Ikan zebra memakan cacing dan crustacea kecil dan larva serangga sehingga dapat digunakan untuk mengendalikan nyamuk (Froese and Pauly, 2003).

Brachydanio rerio dapat tumbuh baik pada kisaran suhu 18°-28°C (Hammilton, 2004). Kadar oksigen terlarut yang cukup sangat diperlukan untuk kelangsungan hidup ikan. Apabila kadar oksigen terlarut dalam perairan menurun maka nafsu makan ikan juga akan berkurang atau menurun sehingga mempengaruhi laju pertumbuhan ikan dan selanjutnya dapat menghambat kemampuan reproduksinya. *Brachydanio rerio* memerlukan kondisi yang ideal

untuk pemijahannya, kadar oksigen terlarut antara 4.21-5.43 ppm dapat memberikan pertumbuhan dan kelangsungan hidup yang baik yang meliputi suhu antara 24-26°C dengan pH 6,5-7 dan O₂ terlarut 3-5 ppm. (Sakurai *et al.*,1992).

2.11 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terkait partisi oktanol air yang telah dilaksanakan sebelumnya, yaitu:

Tabel 2.5 Penelitian Terdahulu

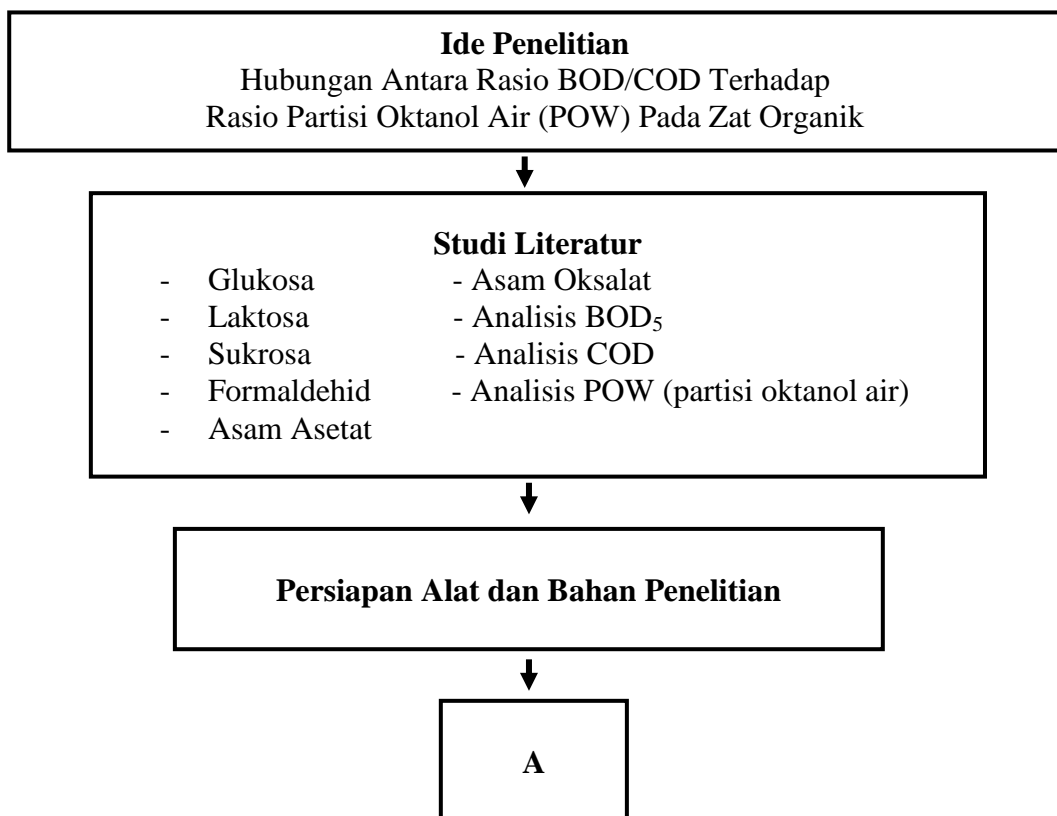
Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
Turner dan Williamson, 2005	<i>Octanol-water partitioning of chemical constituents in river water and treated sewage effluent.</i>	Partisi oktanol air bersifat sensitif terhadap sifat bahan organik (C, S).
Sangster. 2010	<i>A Databank of Evaluated Octanol-Water Partition Coefficients (logP).</i>	Partisi oktanol air berguna dalam menghubungkan sifat pencemar organik seperti bioakumulasi dan koefisien partisi tanah-air dalam kimia lingkungan.
Pradhan., et al. 2015	<i>River Pollution: Assessment of Hydro-philic and Phobic Nature of Persistent Organic Contaminants.</i>	Log POW senyawa organik hidrofobik lebih besar dari dua (> 2) dan senyawa hidrofilik kurang dari dua (< 2).
Pradhan., et al. 2016	<i>Sorption of Aqueous Organics by Aquifer Material: Correlation of Batch Sorption Parameters with Octanol-Water Partition Coefficient.</i>	Partisi oktanol air dapat memprediksi nilai parameter serapan sampai dengan 95 persen.

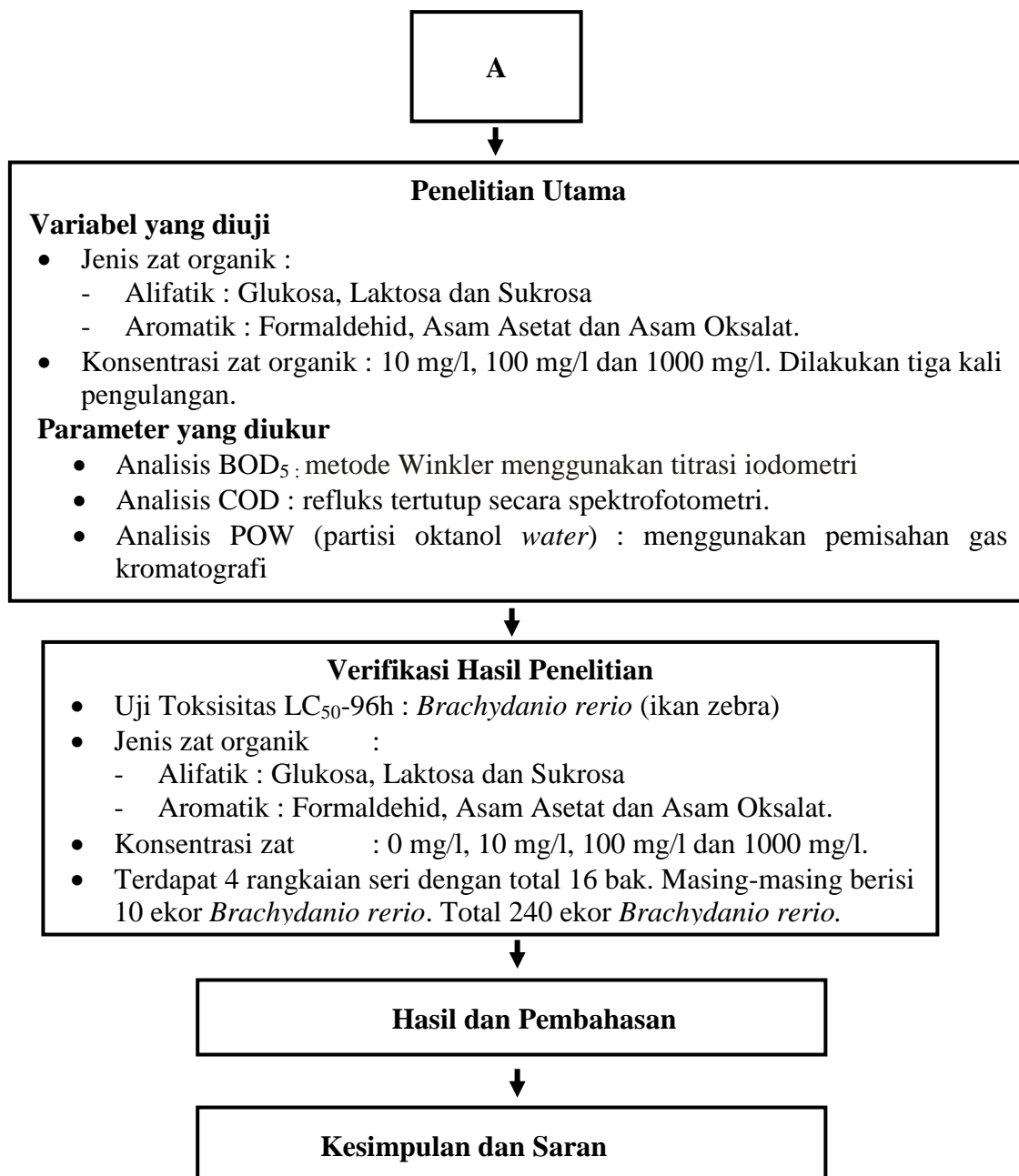
BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Metode penelitian digunakan sebagai acuan dalam melakukan penelitian. Metode penelitian disajikan dalam bentuk kerangka penelitian sebagai gambaran awal tahap penelitian. Kerangka penelitian berisi rangkaian yang akan dilakukan dalam penelitian. Kerangka penelitian digunakan sebagai pedoman untuk memudahkan dalam melakukan penelitian, sehingga kesalahan dapat diminimalisasi. Adapun kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1





Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium di Laboratorium Remediasi Teknik Lingkungan dan Laboratorium Teknologi Pengolahan Air Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

3.3 Ide Penelitian

Tingkat *exposure* dari enam zat organik yaitu Glukosa, Laktosa, Sukrosa, Formaldehid, Asam Asetat dan Asam Oksalat, karena sering digunakan sehingga banyak yang terbuang sehingga perlu dilakukan penelitian untuk menentukan status kualitas dari zat organik tersebut pada konsentrasi berbeda. Hubungan antara removal karbon organik terlarut di akuifer dengan partisi oktanol air telah didokumentasikan (Pradhan *et al.*, 2016). Namun, hubungan partisi oktanol air dengan BOD₅ dan COD belum pernah diteliti. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sangster (2010), jelas bahwa partisi oktanol air (POW) menggambarkan sifat hidrofobik dan hidrofilik dari organik perairan.

Zat organik yang digunakan dalam penelitian ini yaitu : Glukosa, Laktosa, Sukrosa, Formaldehid, Asam Asetat dan Asam Oksalat. Hal ini berdasarkan pada tingkat *exposure* dari enam zat organik yaitu Glukosa, Laktosa, Sukrosa, Formaldehid, Asam Asetat dan Asam Oksalat, karena sering digunakan sehingga banyak yang terbuang ke lingkungan. Adapun kegunaan dari zat organik tersebut diantaranya : glukosa banyak digunakan terutama pada industri pangan, laktosa merupakan sumber energi yang memasok hampir setengah dari keseluruhan kalori yang terdapat pada susu (35-45%), sukrosa dalam pembuatan produk makanan berfungsi untuk memberi rasa manis dan pengawet, formaldehida juga digunakan dalam produk keperluan rumah tangga sehari-hari seperti bahan pembersih rumah, kertas, *shampoo*, *deodorant*, pasta gigi, *lipstick*, pewarna kuku, dan pestisida, asam asetat adalah senyawa kimia asam organik yang paling banyak dikonsumsi dan penting di perdagangan, industri, dan laboratorium dan dikenal sebagai pemberi rasa asam dan aroma dalam makanan dan asam oksalat digunakan dalam berbagai bidang industri, seperti manufaktur tekstil dan pengolahan permukaan logam, penyamakan kulit dan produksi kobalt.

Penelitian ini akan memperoleh status kualitas zat organik (*acceptable*, *biodegradable* dan *non-biodegradable*) terhadap hubungan antara BOD₅, COD dan POW pada konsentrasi yang berbeda dari golongan yang berbeda pula, yaitu alifatik dan aromatik. Dilakukan verifikasi hasil penelitian dengan uji toksisitas terhadap *Brachydanio rerio* (ikan zebra). *Brachydanio rerio* digunakan sebagai representasi organisme perairan tawar dalam uji toksisitas.

Penelitian ini meliputi nilai BOD₅, COD dan POW dari enam zat organik tersebut serta verifikasi hasil analisis laboratorium dengan uji toksisitas LC₅₀-96h menggunakan *Brachydanio rerio*. POW menunjukkan tendensi zat bergerak. Potensi suatu zat akan bergerak kemana, apakah air atau biota, dapat berbeda untuk status BOD₅ dan COD yang berbeda pula. Bagaimana hubungan antara BOD₅, COD terhadap POW untuk masing-masing zat. Masing-masing dengan tiga konsentrasi berbeda yaitu 10 mg/l, 100 mg/l dan 1000 mg/l. Dilakukan tiga kali pengulangan. Variabel yang diuji pada penelitian ini yaitu enam jenis zat organik : Glukosa, Laktosa, Sukrosa, Formaldehid, Sukrosa, Asam Asetat dan Asam Oksalat dan konsentrasi zat organik : 10 mg/l, 100 mg/l dan 1000 mg/l. Dilakukan tiga kali pengulangan. Parameter yang diukur pada penelitian ini yaitu BOD₅, COD dan POW. Uji toksisitas menggunakan *Brachydanio rerio* dengan konsentrasi masing-masing : 10 mg/l, 100 mg/l dan 1000 mg/l.

3.4 Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk menambah pemahaman terkait penelitian yang akan dilakukan dan menentukan variabel tetap yang akan digunakan pada penelitian ini. Studi literatur yang akan digunakan berupa jurnal penelitian, peraturan, *textbook*, disertasi, *website*, laporan thesis, laporan kerja praktek serta makalah dan seminar yang berkaitan dengan penelitian ini. Studi literatur yang diperlukan ialah tentang Glukosa, Laktosa, Sukrosa, Formaldehid, Asam Asetat, Asam Oksalat, Analisis BOD₅, COD, POW (partisi oktanol air) dan Uji Toksisitas Organisme *Brachydanio rerio*.

3.5 Pelaksanaan Penelitian

3.5.1 Persiapan Alat Dan Bahan

Berikut merupakan alat dan bahan yang akan digunakan pada penelitian ini.

a. Instrumen.

Instrumen utama yang akan digunakan pada penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Spectroquant Nova 60, alat ini digunakan untuk menganalisa kandungan COD dari sampel penelitian ini.
2. Thermoreactor TR 320, Pemanas dengan lubang-lubang penyangga tabung (*heating block*).
3. Gas Kromatografi, alat ini digunakan untuk analisis koefisien partisi oktanol air (POW).
4. *Shaker*, digunakan untuk pencampuran homogen dalam analisis POW.
5. Botol winkler (150 ml) dan botol sampel (1 liter) untuk menyimpan sampel air limbah.
6. Biuret (10 ml), gelas erlenmayer (100 ml) untuk titrasi.
7. Gelas ukur (50 ml dan 150 ml) untuk pengenceran.
8. Labu ukur 50,0 ml; 100,0 ml; 250,0 ml; 500,0 ml dan 1000,0 ml
9. Pipet volumetrik 5,0 ml; 10,0 ml; 15,0 ml; 20,0 ml dan 25,0 ml;
10. Gelas piala
11. *Magnetic stirrer*;
12. Timbangan analitik dengan ketelitian 0,1 mg
13. *Centrifuge*
14. Beaker glass 1000 ml, digunakan dalam uji toksisitas organisme *Brachydanio rerio*

b. Bahan-Bahan Penelitian

Bahan utama yang akan digunakan pada penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Glukosa ($C_6H_{12}O_6$)
 $C_6H_{12}O_6$ digunakan sebagai salah satu sampel zat organik dari senyawa alifatik pada penelitian ini. Glukosa termasuk salah satu zat yang sering digunakan, sehingga banyak yang terbuang/terpapar ke lingkungan.
2. Laktosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$)
 $C_{12}H_{22}O_{11}$ digunakan sebagai salah satu sampel zat organik dari senyawa alifatik pada penelitian ini. Laktosa juga termasuk salah satu zat yang sering digunakan, sehingga banyak yang terbuang/terpapar ke lingkungan.
3. Sukrosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$).

Sukrosa dalam pembuatan produk makanan berfungsi untuk memberi rasa manis dan dapat pula sebagai pengawet yaitu dalam konsentrasi yang tinggi dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme, dapat menurunkan aktifitas air dari bahan pangan (Buckle *et al.*, 1987).

4. Formaldehid (H_2CO).

H_2CO digunakan sebagai salah satu sampel zat organik dari senyawa aromatik pada penelitian ini. Dalam air, formaldehida mengalami polimerisasi. Formaldehida memiliki sifat mudah larut dalam air, sangat reaktif dalam suasana alkalis, serta bersifat sebagai pereduksi yang kuat (NIOSH, 2007).

5. Asam Asetat (CH_3COOH).

CH_3COOH merupakan asam yang paling penting di perdagangan, industri, dan laboratorium dan dikenal sebagai pemberi rasa asam dan aroma dalam makanan. Asam asetat merupakan asam lemah yang terionisasi sebagian dalam air, walaupun demikian, keasaman asam asetat tetap lebih tinggi dibanding dengan keasaman air (Kohar, 2004).

6. Asam Oksalat ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$)

Asam oksalat digunakan dalam berbagai bidang industri, seperti manufaktur tekstil dan pengolahan permukaan logam, penyamakan kulit dan produksi kobalt (Othmer, 2007).

7. Larutan MnCl_2 dan NaOH-KI 0,1 N.

Sampel yang akan dianalisis uji BOD_5 , terlebih dahulu ditambahkan larutan MnCl_2 dan NaOH-KI, sehingga akan terjadi endapan MnO_2 .

8. Larutan asam sulfat (H_2SO_4) 0,1 N.

H_2SO_4 digunakan untuk pada uji BOD_5 untuk melarutkan endapan yang terjadi dan juga akan membebaskan molekul iodium (I_2) yang ekuivalen dengan oksigen terlarut. Iodium yang dibebaskan ini selanjutnya dititrasi dengan larutan standar natrium tiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) dan menggunakan indikator larutan amilum (kanji).

9. Larutan kalium permanganat (KMnO_4)

KMnO_4 ditambahkan sebagai pengoksidasi zat-zat organik yang ada pada sampel air dalam analisis COD.

10. Larutan baku Kalium Hidrogen Ftalat ($\text{HOOC}\text{C}_6\text{H}_4\text{COOK}$, KHP).
Larutan baku Kalium Hidrogen Ftalat digunakan sebagai pengendalian mutu kinerja pengukuran.
11. Larutan perak sulfat (Ag_2SO_4)
 Ag_2SO_4 ditambahkan sebagai katalisator untuk mempercepat reaksi dalam analisis COD.
12. Larutan pereaksi asam sulfat, H_2SO_4 pekat. Larutan-larutan tersebut digunakan dalam analisis COD dengan refluks tertutup secara spektrofotometri.
13. Oktanol. Bahan ini digunakan dalam analisis koefisien partisi oktanol air (POW) menggunakan gas kromatografi.
14. Aquades. Bahan ini digunakan sebagai pelarut/blanko dalam analisis BOD_5 , COD dan POW.
15. *Brachydanio rerio* (ikan zebra). *Brachydanio rerio* digunakan sebagai representasi organisme perairan tawar dalam uji toksisitas.

3.5.2 Penelitian Utama

Tahap penelitian utama dilakukan dengan analisis BOD menggunakan metode Winkler. Prinsipnya menggunakan titrasi iodometri. Sampel air limbah terlebih dahulu ditambahkan larutan MnCl_2 dan NaOH-KI , sehingga akan terjadi endapan MnO_2 . Dengan menambahkan H_2SO_4 atau HCl maka endapan yang terjadi akan larut kembali dan juga akan membebaskan molekul iodium (I_2) yang ekuivalen dengan oksigen terlarut. Iodium yang dibebaskan ini selanjutnya dititrasi dengan larutan standar natrium tiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) dan menggunakan indikator larutan amilum (kanji). Tahap penelitian selanjutnya yaitu analisis COD dengan refluks tertutup secara spektrofotometri. Senyawa organik dioksidasi oleh $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ dalam refluks tertutup menghasilkan Cr^{3+} . Jumlah oksidan yang dibutuhkan dinyatakan dalam ekuivalen oksigen (O_2 mg/L) diukur secara spektrofotometri sinar tampak. $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ kuat mengabsorpsi pada panjang gelombang 420 nm dan Cr^{3+} kuat mengabsorpsi pada panjang gelombang 600 nm. Untuk nilai COD 100 mg/L sampai dengan 900 mg/L kenaikan Cr^{3+} ditentukan pada panjang gelombang 600 nm. Pada contoh uji dengan nilai COD yang lebih tinggi,

dilakukan pengenceran terlebih dahulu sebelum pengujian. Untuk nilai COD lebih kecil atau sama dengan 90 mg/L penurunan konsentrasi $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ditentukan pada panjang gelombang 420 nm.

Pembuatan kurva kalibrasi dilakukan dengan cara mengatur panjang gelombangnya alat uji spektrofotometer pada 600 nm atau 420 nm, ukur serapan masing-masing larutan kerja kemudian catat dan plotkan terhadap kadar COD. Tahap penelitian selanjutnya yaitu analisis koefisien partisi oktanol air (POW) menggunakan gas kromatografi. Sejumlah zat (misalnya glukosa) dilarutkan kedalam larutan campuran oktanol (5 ml) dan air (5 ml) dalam tabung-tabung reaksi. Tabung-tabung reaksi dikocok menggunakan *shaker* selama 1 jam– 1 hari untuk pencampuran homogen. Selanjutnya dilakukan pemisahan larutan menggunakan *centrifuge*. Cuplikan air dapat diambil untuk analisis kandungan zat (misalnya didapat c) dan diperoleh hasil POW menggunakan gas kromatografi.

Pada penelitian ini menggunakan 3 variasi konsentrasi yaitu 10 mg/l, 100 mg/l dan 1000 mg/l. Hal ini dikarenakan potensi suatu zat akan bergerak kemana, dapat berbeda untuk status BOD₅ dan COD pada konsentrasi yang berbeda. Partisi oktanol air dari beberapa senyawa organik telah tersedia dalam. Hubungan antara removal karbon organik terlarut di akuifer dengan partisi oktanol air telah didokumentasikan. Namun, hubungan partisi oktanol air dengan BOD₅ dan COD belum pernah diteliti. Penelitian ini akan memperoleh status kualitas zat organik (*acceptable*, *biodegradable* dan toksik) terhadap hubungan antara BOD₅, COD dan POW pada konsentrasi yang berbeda dari golongan yang berbeda pula, yaitu alifatik dan aromatik. Tendensi zat untuk menghasilkan biokonsentrasi dihubungkan dengan persistensinya dan sifat lipofiliknya yang diukur melalui koefisien partisi n-oktanol air (POW) (Mangkoedihardjo, 2010). Variasi yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut:

Tabel 3. 1 Variasi Penelitian

Zat Organik	Parameter Uji	Konsentrasi Zat								
		X			Y			Z		
1	A	1AX ₁	1AX ₂	1AX ₃	1AY ₁	1AY ₂	1AY ₃	1AZ ₁	1AZ ₂	1AZ ₃
	B	1BX ₁	1BX ₂	1BX ₃	1BY ₁	1BY ₂	1BY ₃	1BZ ₁	1BZ ₂	1BZ ₃
	C	1CX ₁	1CX ₂	1CX ₃	1CY ₁	1CY ₂	1CY ₃	1CZ ₁	1CZ ₂	1CZ ₃
2	A	2AX ₁	2AX ₂	2AX ₃	2AY ₁	2AY ₂	2AY ₃	2AZ ₁	2AZ ₂	2AZ ₃
	B	2BX ₁	2BX ₂	2BX ₃	2BY ₁	2BY ₂	2BY ₃	2BZ ₁	2BZ ₂	2BZ ₃
	C	2CX ₁	2CX ₂	2CX ₃	2CY ₁	2CY ₂	2CY ₃	2CZ ₁	2CZ ₂	2CZ ₃
3	A	3AX ₁	3AX ₂	3AX ₃	3AY ₁	3AY ₂	3AY ₃	3AZ ₁	3AZ ₂	3AZ ₃
	B	3BX ₁	3BX ₂	3BX ₃	3BY ₁	3BY ₂	3BY ₃	3BZ ₁	3BZ ₂	3BZ ₃
	C	3CX ₁	3CX ₂	3CX ₃	3CY ₁	3CY ₂	3CY ₃	3CZ ₁	3CZ ₂	3CZ ₃
4	A	4AX ₁	4AX ₂	4AX ₃	4AY ₁	4AY ₂	4AY ₃	4AZ ₁	4AZ ₂	4AZ ₃
	B	4BX ₁	4BX ₂	4BX ₃	4BY ₁	4BY ₂	4BY ₃	4BZ ₁	4BZ ₂	4BZ ₃
	C	4CX ₁	4CX ₂	4CX ₃	4CY ₁	4CY ₂	4CY ₃	4CZ ₁	4CZ ₂	4CZ ₃
5	A	5AX ₁	5AX ₂	5AX ₃	5AY ₁	5AY ₂	5AY ₃	5AZ ₁	5AZ ₂	5AZ ₃
	B	5BX ₁	5BX ₂	5BX ₃	5BY ₁	5BY ₂	5BY ₃	5BZ ₁	5BZ ₂	5BZ ₃
	C	5CX ₁	5CX ₂	5CX ₃	5CY ₁	5CY ₂	5CY ₃	5CZ ₁	5CZ ₂	5CZ ₃
6	A	6AX ₁	6AX ₂	6AX ₃	6AY ₁	6AY ₂	6AY ₃	6AZ ₁	6AZ ₂	6AZ ₃
	B	6BX ₁	6BX ₂	6BX ₃	6BY ₁	6BY ₂	6BY ₃	6BZ ₁	6BZ ₂	6BZ ₃
	C	6CX ₁	6CX ₂	6CX ₃	6CY ₁	6CY ₂	6CY ₃	6CZ ₁	6CZ ₂	6CZ ₃

Keterangan :

- 1 : Glukosa
- 2 : Laktosa
- 3 : Sukrosa
- 4 : Formaldehid
- 5 : Asam Asetat
- 6 : Asam Oksalat
- A : Uji BOD
- B : Uji COD
- C : Uji POW
- X : Konsentrasi zat 10 mg/l
- Y : Konsentrasi zat 100 mg/l
- Z : Konsentrasi zat 1000 mg/l

3.5.3 Uji Toksisitas LC₅₀ *Brachydanio rerio*

Uji toksisitas dilakukan sebagai verifikasi konsentrasi teoritis berdasarkan hasil analisis laboratorium sebagai implementasi dari penelitian ini terhadap organisme. *Brachydanio rerio* digunakan sebagai representasi organisme perairan tawar dalam uji toksisitas. *Brachydanio rerio* biasa digunakan dalam penelitian ekotoksikologi, karena sifat biologis dan reproduksi ikan zebra (interval generasi pendek dan interval pemijahan yang singkat) cocok sebagai ikan uji untuk penelitian toksikologi. (Meinelt *et al.*, 1999). Uji toksisitas *lethal concentration* 50 dipergunakan untuk menentukan toksisitas masing-masing zat organik.

Uji toksisitas LC₅₀ dilakukan selama 96 jam (USEPA, 2002). Diperlukan serial pengujian guna identifikasi variabilitas hasil tiap seri. Pada tiap seri, disamping bak kontrol, diatur konsentrasi zat mulai dari konsentrasi terendah hingga tertinggi. Digunakan desain uji statis untuk membandingkan konsentrasi dari berbagai zat. Pada sistem paparan statis (*static flow*), organisme ditenamkan dalam kondisi medium/larutan diam dengan berbagai variasi konsentrasi zat yang digunakan sepanjang durasi paparan, yaitu 96 jam (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2009). Pada penelitian ini digunakan 3 konsentrasi dengan 1 bak kontrol, yaitu C0 (bak kontrol tanpa zat) = 0 mg/l; C1 = 10 mg/l; C2 = 100 mg/l; dan C3 = 1000 mg/l. Terdapat 6 jenis zat organik yaitu Glukosa, Laktosa, Sukrosa, Formaldehid, Asam Asetat dan Asam Oksalat dengan total rangkaian 24 bak. Masing-masing berisi 10 ekor digunakan sebagai representasi organisme perairan tawar dalam uji toksisitas *Brachydanio rerio* (USEPA, 2002). Adapun susunan rangkaian uji toksisitas dapat dilihat pada Gambar 3.2. Hasil uji toksisitas LC₅₀ dapat diterima apabila 90% hewan uji pada kontrol di akhir pengamatan masih hidup. Apabila yang bertahan hidup lebih kecil dari 90% maka uji harus diulang (OECD, 1992).

Penentuan nilai LC₅₀ dilakukan dengan menggunakan analisis probit (Conell dan Miller, 1995). Analisis probit digunakan pada uji toksisitas suatu zat, sementara besarnya konversi dalam bentuk logaritma dianggap sebagai bentuk transformasi yang kuat di mana nilai sebarannya relatif valid. Analisis probit umumnya digunakan pada toksikologi untuk menentukan toksisitas relatif dari zat

organik untuk organisme hidup. Hal ini dilakukan dengan menguji respons organisme di bawah berbagai konsentrasi masing-masing zat organik tersebut dan kemudian membandingkan konsentrasi hingga didapatkan hasilnya (Vincent 2008). Pada analisis ini akan diperoleh tabel nilai probit, yaitu d (konsentrasi perlakuan), n (jumlah hewan uji), r (jumlah mortalitas), dan p (persentase mortalitas).

Hubungan nilai logaritma dari konsentrasi bahan uji dengan nilai probit dari persentase mortalitas hewan uji merupakan fungsi linier dari $y = a + bx$ (Hendri *et al.*, 2010). Secara matematis, perhitungan untuk menentukan nilai LC_{50} - 96 jam adalah sebagai berikut :

$$b = \frac{\sum XY - \frac{1}{n} \sum X \sum Y}{\sum X^2 - \frac{1}{n} (\sum X)^2}$$

$$a = \frac{1}{n} \sum Y - b \sum X$$

Persamaan regresinya: $y = a + bx$

$$m = \frac{5}{a-b} LC50 = \text{antilog } m$$

Keterangan :

Y= Nilai probit (tabel finney's) berdasarkan nilai p

X= Log dari nilai d

y = Probit kematian hewan uji

x = Logaritma konsentrasi uji

a = Konsentrasi regresi

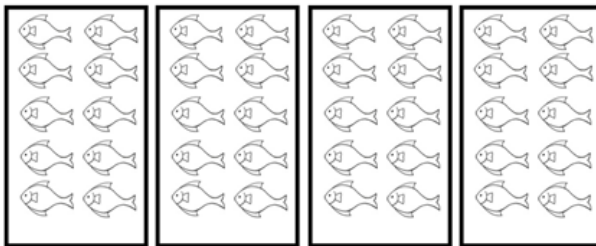
b = Slope/kemiringan regresi

m= Logaritma konsentrasi (x)

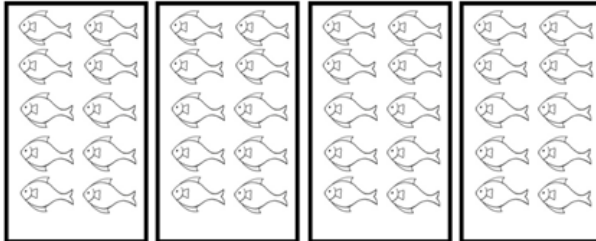
n = Jumlah perlakuan

(USEPA, 2002)

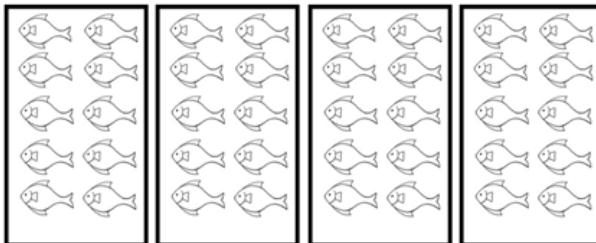
Seri 1



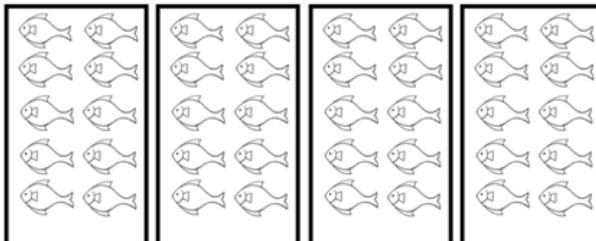
Seri 2



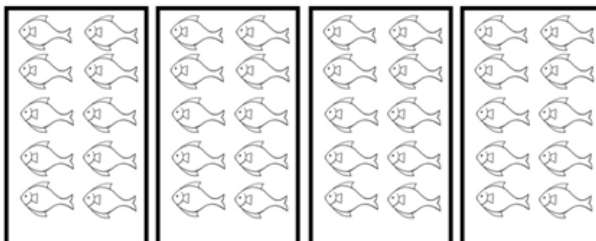
Seri 3



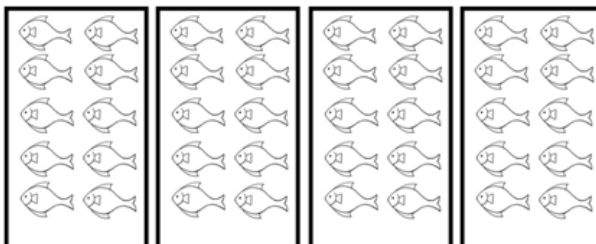
Seri 4



Seri 5



Seri 6



C0

C1

C2

C3

Keterangan :

Seri 1 : Glukosa

Seri 2 : Laktosa

Seri 3 : Selulosa

Seri 4 : Formaldehid

Seri 5 : Asam Asetat

Seri 6 : Asam Karboksilat

C0 : Konsentrasi zat 0 mg/l

C1 : Konsentrasi zat 10 mg/l

C2 : Konsentrasi zat 100 mg/l

C3 : Konsentrasi zat 1000 mg/l

Gambar 3.2. Rangkaian Uji Toksisitas *Brachydanio rerio*

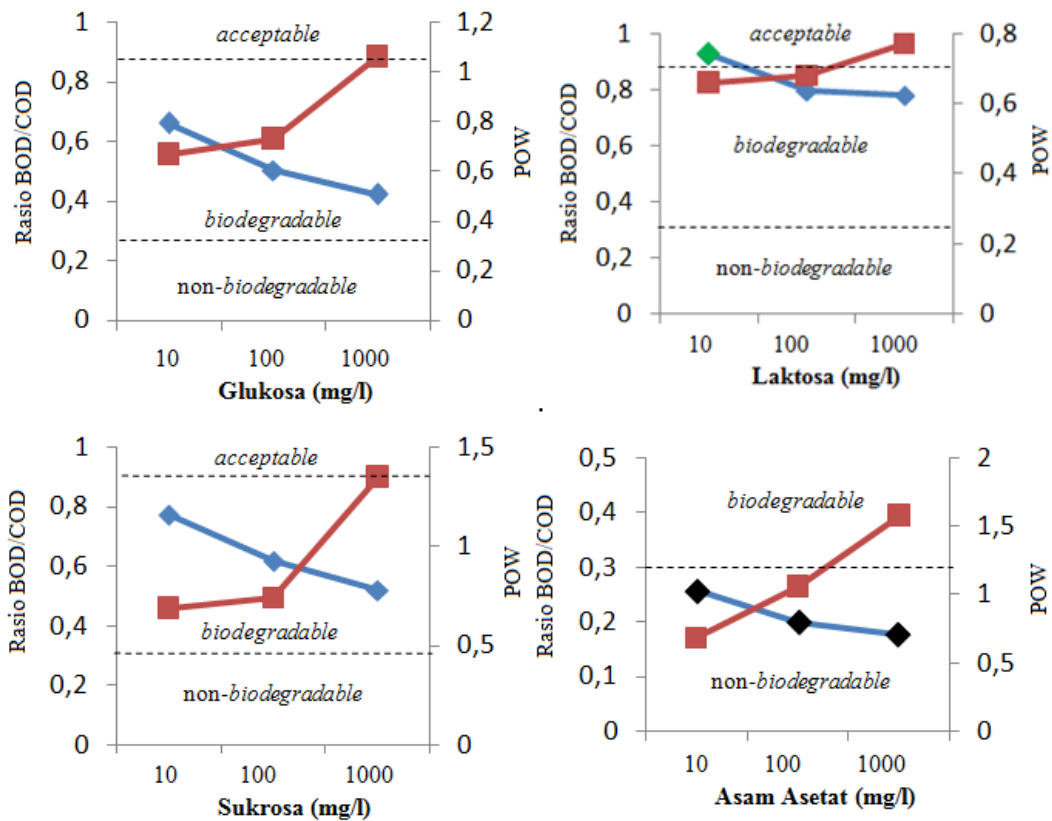
BAB 4

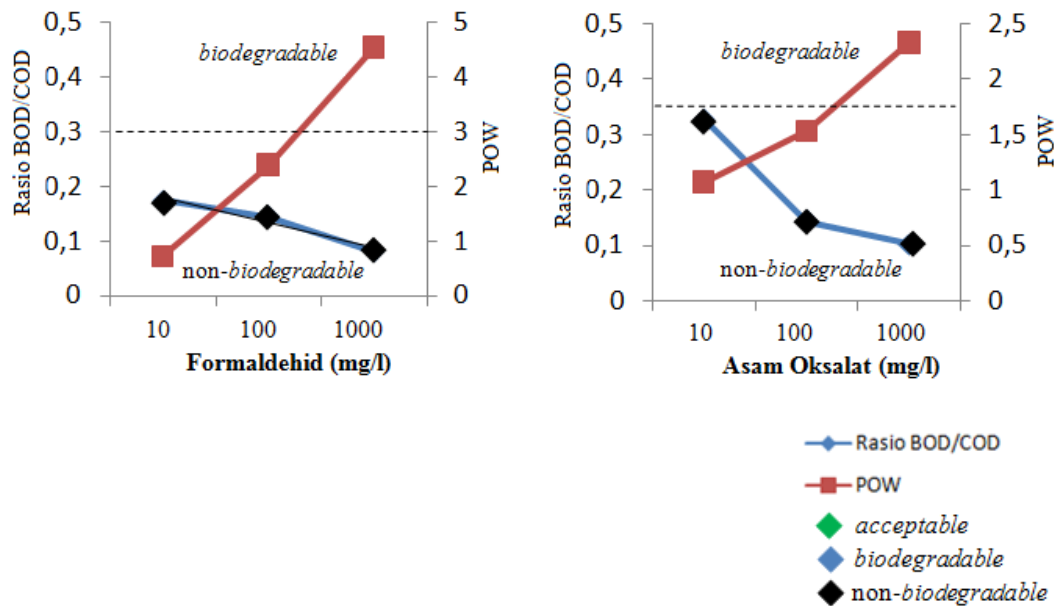
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Analisis BOD₅, COD dan POW.

Analisis BOD₅ dilakukan dengan metode Winkler menggunakan titrasi iodometri. Analisis COD dilakukan dengan metode refluks tertutup secara spektrofotometri, dan analisis POW dilakukan dengan metode menggunakan pemisahan gas kromatografi. Analisis dilakukan terhadap enam jenis zat organik, yaitu : Glukosa, Laktosa, Sukrosa, Formaldehid, Asam Asetat dan Asam Oksalat. Masing-masing dengan konsentrasi 10 mg/l, 100 mg/l dan 1000 mg/l dengan tiga kali pengulangan. Adapun tingkat biodegradability diperoleh sebagai berikut:





Gambar 4.1 Tingkat *Biodegradability* Zat Organik

4.1.2 Uji Toksisitas LC_{50} *Brachydanio rerio*

Uji toksisitas LC_{50} *Brachydanio rerio* dilakukan sebagai verifikasi konsentrasi teoritis berdasarkan hasil analisis laboratorium sebagai implementasi dari penelitian ini terhadap organisme, yang dipergunakan untuk menentukan toksisitas masing-masing zat organik. Pada uji toksisitas *Brachydanio rerio* digunakan 3 konsentrasi dengan 1 bak kontrol, yaitu C0 (bak kontrol tanpa zat) = 0 mg/l; C1 = 10 mg/l; C2 = 100 mg/l; dan C3 = 1000 mg/l, terdapat 6 jenis zat organik yaitu Glukosa, Laktosa, Sukrosa, Formaldehid, Asam Asetat dan Asam Oksalat, yang masing-masing berisi 10 ekor *Brachydanio rerio*. Uji toksisitas dilakukan selama 96 jam. Berdasarkan data mortalitas *Brachydanio rerio* (Lampiran 4) terdapat dua atau lebih konsentrasi yang mengalami kematian, digunakan Metode Probit untuk menentukan nilai LC_{50-96h} (USEPA, 2002).

Hasil uji toksisitas LC_{50} dapat diterima apabila 90% hewan uji pada kontrol di akhir pengamatan masih hidup. Apabila yang bertahan hidup lebih kecil dari 90% maka uji harus diulang (OECD, 1992). Pada penelitian ini, diperoleh hasil akhir organisme uji pada kontrol di akhir pengamatan adalah 100% masih hidup seluruhnya, sehingga hasilnya dapat terima (Lampiran 4). Hubungan antara

mortalitas dengan konsentrasi pencemar menunjukkan bahwa semakin besar penambahan konsentrasi pencemar maka mortalitas yang terjadi semakin besar.

Tabel 4.1 Nilai LC₅₀-96h Zat Organik Terhadap *Brachydanio rerio*.

Zat Organik	Nilai LC ₅₀ (mg/l)	Persamaan Garis Probit
<i>Organic Matter</i>	<i>LC₅₀ value</i> (mg/l)	<i>Estimated Probit Line</i>
Glukosa	371,53	$m = 0,087x - 5,39$
Laktosa	851,14	$m = 0,052x - 2,77$
Sukrosa	685,49	$m = 0,082x - 2,09$
Formaldehid	23,99	$m = 0,104x + 2,69$
Asam Asetat	30,19	$m = 0,102x + 2,33$
Asam Oksalat	41,69	$m = 0,049x + 31,66$

Ket : m = mortalitas organisme uji dan x = konsentrasi zat organik.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Hubungan Antara Rasio BOD/COD dan POW.

Dengan melihat keseluruhan hasil analisis BOD dan COD, tendensi zat organik golongan alifatik yaitu Glukosa, Laktosa dan Sukrosa, ialah *biodegradable* (Tabel 4.2). Adapun nilai BOD dan COD yang kecil, dapat dikategorikan stabil karena hanya sedikit yang dapat terdegradasi. Urutan tingkat biodegradability terbesar adalah Laktosa, Sukrosa dan Glukosa. Tendensi zat organik golongan aromatik yaitu Formaldehid, Asam Asetat dan Asam Oksalat, ialah *non-biodegradable*. Perbandingan BOD dan COD yang sangat rendah yaitu $< 0,01$ menunjukkan bahwa bahan-bahan pencemar organik yang masuk bersifat sukar terurai (*non-biodegradable*). Sebagaimana disebutkan oleh Srinivas (2008) tentang biodegradability index pada Tabel 2.1. Untuk kategori *acceptable*, hanya terdapat pada Laktosa pada konsentrasi 10 mg/l yaitu sebesar 0,925.

Hasil penelitian menunjukkan zat organik dengan rasio BOD/COD terkecil yaitu formaldehid sebesar 0,082 pada konsentrasi 1000 mg/l sehingga termasuk dalam kategori *non-biodegradable*. Zat organik dengan rasio BOD/COD terbesar yaitu laktosa sebesar 0,797 pada konsentrasi 100 mg/l sehingga termasuk dalam kategori *biodegradable*. Nilai BOD dan COD yang besar menunjukkan zat

tersebut memiliki cukup karbon untuk mendegradasi. Formaldehid bersifat sebagai pereduksi yang kuat dan akumulatif. Hal tersebut dapat mengurangi aktivitas mikroorganisme (Cahyadi, 2008). Laktosa merupakan disakarida yang terdiri dari glukosa dan galaktosa yang tersusun dari molekul β -D-galaktosa dan α -D-glukosa yang dihubungkan oleh ikatan 1,4'- β , yang merupakan sumber karbon bagi mikroorganisme (Solomons, 2002).

Tabel 4.2 Tingkat Biodegradability Zat Organik

No	Zat Organik	Konsentrasi (mg/l)	Analisis			Rasio BOD/COD	Biodegradability
			BOD ₅	COD	POW		
1	Laktosa	10	7,68	8,3	0,66	0,925	<i>acceptable</i>
		100	76,67	96,17	0,68	0,797	<i>biodegradable</i>
		1000	750,67	962	0,77	0,780	
2	Sukrosa	10	5,67	7,33	0,69	0,774	<i>biodegradable</i>
		100	58,42	94,67	0,74	0,617	
		1000	495,3	954	1,35	0,519	
3	Glukosa	10	4,19	6,33	0,67	0,662	<i>biodegradable</i>
		100	40,08	95	0,73	0,503	
		1000	452	899	1,06	0,422	
4	Asam Asetat	10	1,72	6,67	0,68	0,258	<i>non- biodegradable</i>
		100	16,58	93,33	1,06	0,200	
		1000	158,67	792	1,58	0,178	
5	Asam Oksalat	10	0,79	7,7	1,07	0,329	<i>non- biodegradable</i>
		100	13,83	42	1,53	0,144	
		1000	114,67	796	2,33	0,103	
6	Formaldehid	10	0,77	5,3	0,71	0,174	<i>non- biodegradable</i>
		100	11,33	65	2,39	0,145	
		1000	98,67	123	4,54	0,082	

Koefisien partisi n-oktanol dan air (POW) merepresentasikan rasio zat yang masuk ke dalam fasa organik karbon dan fasa air. POW digunakan untuk mengetahui tendensi suatu zat, apakah ke lingkungan atau ke biota. Dari enam jenis zat organik yang diteliti, nilai POW menunjukkan bertendensi ke biomass.

Untuk zat organik yang bersifat non-*biodegradable*, yaitu Formaldehid, Asam Asetat dan Asam Oksalat, lebih terkonsentrasi menuju ke biomassa. Hal ini dikarenakan rata-rata nilai $POW > 1$, dibandingkan dengan zat organik yang bersifat *biodegradable* yaitu Laktosa, Sukrosa dan Glukosa. Semakin non-*biodegradable* suatu zat, semakin bertendensi ke biomassa, tidak terbuang melalui air, urin maupun sistem pembuangan lainnya (hanya sebagian kecil saja). Sehingga apabila banyak mengkonsumsi formaldehid, akan banyak menumpuk di dalam tubuh manusia, sedikit yang keluar lewat pembuangan (urin), dibandingkan dengan Glukosa.

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat toksisitas suatu zat organik, semakin tinggi pula nilai POW zat tersebut. Dengan kata lain, POW berbanding lurus dengan tingkat toksisitas (*toxicity level*) suatu zat. Sedangkan semakin kecil rasio BOD/COD, konsentrasinya semakin toksik. Dengan kata lain POW berbanding terbalik dengan rasio BOD/COD. Hal ini berarti bahwa senyawa yang bersifat toksik bertendensi ke biota.

Berdasarkan hasil analisis BOD dan COD dari enam jenis zat organik diatas, dapat dilihat secara keseluruhan jika zat organik dari golongan senyawa alifatik, yaitu glukosa, laktosa dan sukrosa, memiliki nilai BOD dan COD yang lebih besar dibanding zat organik golongan senyawa aromatik, yaitu formaldehid, asam asetat dan asam oksalat (Gambar 4.1). Sifat kimia dari senyawa aromatik yang bersifat toksik karsinogenik, dimana semakin toksik zat organik, semakin bertendensi ke biota. Diperoleh hasil jika zat organik dari golongan senyawa aromatik, yaitu formaldehid, asam asetat dan asam oksalat, memiliki nilai POW yang lebih besar dibandingkan zat organik golongan senyawa alifatik, yaitu glukosa, laktosa dan sukrosa.

4.2.2 Uji Toksisitas LC_{50} *Brachydanio rerio*

Nilai LC_{50-96} dari zat organik non-*biodegradable* lebih kecil dibandingkan dengan zat organik *biodegradable* (Tabel 4.1). Hal ini menunjukkan zat organik non-*biodegradable* bersifat lebih toksik dibandingkan zat organik *biodegradable* dan lebih bertendensi menuju ke biomassa. Berdasarkan hasil pengamatan, diperoleh nilai LC_{50-96} jam formaldehid terhadap *Brachydanio rerio*

sebesar 23,99 mg/l (Tabel 4.1). Semakin kecil harga LC50 semakin toksik suatu senyawa (Meyer *et al.*, 1982); Suatu zat dikatakan sangat beracun apabila memiliki nilai LC50 kecil dan sebaliknya (Argo, 2001). Respons *Brachydanio rerio* terhadap konsentrasi formaldehid menunjukkan mortalitas tertinggi.

Hasil uji toksisitas LC50 metode Probit menunjukkan persamaan garis probit $m = 0,104x + 2,69$, dimana m merupakan variabel terikat yang menunjukkan mortalitas hewan uji selama 96 jam. Nilai a merupakan titik potong sumbu y nilainya sebesar 2,69 dan b merupakan kemiringan garis regresi yang nilainya sebesar 0,104. Kemudian x merupakan konsentrasi formaldehid. Untuk laktosa diperoleh persamaan garis probit $y = 0,052x - 2,77$. Pada persamaan garis probit $m = 0,104x + 2,69$, Koefisien regresi bernilai positif menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi zat organik, maka semakin tinggi pula mortalitas hewan uji. Sementara pada persamaan garis probit $m = 0,052x - 2,77$, diperoleh nilai konstanta/intercept (a) sebesar $- 2,77$.

Konstanta negatif terdapat pada zat organik kategori *biodegradable*, yaitu glukosa, laktosa dan sukrosa. Hal ini disebabkan zat organik tersebut merupakan sumber karbon yang bersifat tidak toksik, sehingga nilai LC50-nya lebih besar dibandingkan dengan zat organik kategori *non-biodegradable*. Dengan kata lain, zat organik kategori *biodegradable* tidak mendukung terhadap LC50, sehingga diperoleh konstanta negatif. Konstanta negatif umumnya terjadi jika ada rentang yang cukup jauh antara X (variabel independen) dan Y (variabel respon) (Mendenhall, 2011). Pada penelitian ini, X memiliki rentang nilai 0-1000, sedangkan Y memiliki rentang nilai 0-100. Pada zat organik *biodegradable* yaitu glukosa, laktosa dan sukrosa, terjadi perbedaan rentang yang cukup jauh antara konsentrasi zat dengan mortalitas yang terjadi, dibandingkan dengan zat organik *non-biodegradable* yaitu formaldehid, asam asetat dan asam oksalat. Dimana pada zat tersebut diperoleh nilai mortalitas *Brachydanio rerio* yang tinggi. Konstanta negatif tidaklah menjadi persoalan dan bisa diabaikan. Selama nilai slope tidak nol, maka tidak perlu memperdulikan konstanta negatif ini. Karena dasarnya regresi digunakan memprediksi Y berdasarkan nilai perubahan X , maka harusnya yang menjadi perhatian adalah X nya (slope), bukan nilai konstanta (Dougherty, 2002).

Setelah waktu pemaparan 48 jam pada konsentrasi formaldehid sebesar 10 mg/l, *Brachydanio rerio* pada beberapa konsentrasi perlakuan mulai mengalami kematian, hingga jam ke-72 ikan uji pada perlakuan konsentrasi 1000 mg/l telah mati 100%. Mortalitas *Brachydanio rerio* semakin meningkat dengan bertambahnya konsentrasi perlakuan dan waktu pemaparan.

Dari hasil pengamatan, terlihat bahwa gejala klinis akibat formaldehid timbul pada ikan setelah waktu pemaparan 24 jam terutama pada konsentrasi 100 dan 1000 mg/l. Dimana ikan sering berada di permukaan air, berenang tidak teratur dan selanjutnya mati. Gejala tersebut menurut Connel dan Miller (1995) merupakan tanggapan yang terjadi pada saat zat-zat mengganggu proses sel atau subsele dalam makhluk hidup sampai suatu batas yang menyebabkan kematian secara langsung. Menurut Shah (2010), ikan yang terpapar toksik dapat diketahui dari tingkah laku ikan tersebut, yaitu dengan gerakan hiperaktif, menggelepar, dan lumpuh. Hal ini diduga sebagai suatu cara untuk memperkecil proses biokimia dalam tubuh yang teracuni, sehingga efek letal yang terjadi lebih lambat.

Mekanisme masuknya toksikan ke dalam biota dapat terjadi secara langsung dan dapat masuk dari lingkungan yang selanjutnya masuk ke tubuh biota. Mekanisme masuknya toksikan ke dalam biota secara langsung pada *Brachydanio rerio* pada uji toksisitas LC₅₀-96h disebabkan masuknya formaldehid ke dalam tubuh melalui penyerapan langsung lewat kulit dan pengambilan dari air melalui membran insang. Hal ini disebabkan adanya gugus CO atau aldehid. Formaldehida yang diinhalasi akan diserap oleh saluran pernafasan bagian atas tetapi tidak didistribusikan ke seluruh tubuh karena adanya proses detoksifikasi sehingga dimetabolisme secara cepat (Heck *et al.*, 1985). Selain itu, kematian ikan juga disebabkan karena formaldehid mampu menimbulkan rangsangan pada sistem syaraf pusat sehingga menyebabkan terjadinya kejang (ADB, 1987). Menurut Arianti (2002), formaldehid yang masuk ke dalam badan ikan akan mengganggu keseimbangan sodium (Na) dan potasium (K) dalam sel syaraf sehingga sistem syaraf tidak stabil yang mengakibatkan ikan tidak mampu mengendalikan kontraksi otot sebagai akibat dari rangsang otak yang berlebihan sehingga menyebabkan kejang-kejang. Formaldehida yang diasup secara oral akan diserap oleh saluran gastrointestinal.

Toksikan dapat masuk ke biota secara langsung dan dapat masuk dari lingkungan yang selanjutnya dapat menyebabkan ikan menjadi mati. Mekanisme masuknya toksikan dari lingkungan ke tubuh biota dapat terjadi secara biologis dan fisik-kimia, bervariasi berdasarkan sifat masing-masing zat yang dimasukkan ke dalam air. Secara biologis, pada zat organik kategori biodegradable yaitu glukosa, laktosa dan sukrosa, apabila dimasukkan zat organik tersebut dengan konsentrasi tinggi, maka bakteri aerobik didalam air akan memakan glukosa tersebut sehingga memerlukan oksigen yang tinggi pula. Hal ini berakibat pada *dissolved oxygen* (DO) di dalam air menjadi semakin rendah, sehingga menyebabkan ikan tersebut mati. Formaldehid bersifat sebagai pereduksi yang kuat dan akumulatif. Hal tersebut dapat mengurangi aktivitas mikroorganisme (Cahyadi, 2008). Formaldehid adalah zat organik yang bersifat racun, dimana POW meningkat seiring dengan bertambahnya tingkat toksisitas dari suatu zat, sehingga semakin tinggi toksisitas suatu zat dapat menyebabkan biota mati. Pada asam asetat dan asam oksalat, konsentrasi kandungan asam yang tinggi di dalam air, menyebabkan pH menjadi asam. Ikan lebih suka berada dalam lingkungan pH netral. Hal ini juga dapat menyebabkan ikan menjadi mati. Secara fisik-kimia, di dalam air terdapat ruang kosong untuk pergerakan antar molekul, yaitu dalam 1 liter air, terdapat 7 mg untuk oksigen. Ketika dimasukkan zat lain ke dalam air, maka ruang kosong tersebut akan berkurang. Akibatnya oksigen menjadi berkurang, sehingga menyebabkan ikan mati.

Nilai $POW > 1$ menunjukkan zat tersebut bersifat toksik dan akumulatif terhadap organisme, dibandingkan dengan $POW < 1$. Dalam pengolahan air limbah, untuk $POW < 1$ dapat digunakan pengolahan secara biologi, seperti : aerasi, biofiltrasi dan *activated sludge*. Dalam proses pengolahan secara biologi, terjadi penghancuran atau penghilangan kontaminan menggunakan bantuan mikroorganisme. Nilai $POW > 1$ menunjukkan bahwa zat organik bersifat non-*biodegradable*, sehingga dalam pengolahan air limbah harus menggunakan proses pengolahan secara fisik-kimia. Pengolahan secara fisik dapat menggunakan *screening*, sedimentasi dan filtrasi. Prinsip utama pengolahan limbah secara fisik yaitu untuk menghilangkan kontaminan tersuspensi pada air. Pengolahan secara

kimia dapat menggunakan koagulasi dan adsorpsi, dimana terjadi penambahan bahan kimia untuk mengubah atau menghancurkan kontaminan.

Hasil uji LC₅₀ pada *Brachydanio rerio* ini telah memverifikasi analisa laboratorium yang dilakukan yaitu BOD₅, COD, dan POW. Formaldehid memiliki LC₅₀-96h terkecil yaitu 23,99 sehingga diperoleh respons *Brachydanio rerio* dengan mortalitas tertinggi. Hal tersebut sesuai dengan *biodegradability* formaldehid yang termasuk dalam kategori *non-biodegradable*. Laktosa dengan nilai LC₅₀-96h terbesar yaitu 851,14 dan termasuk dalam kategori *biodegradable* pada analisa laboratorium. Hal ini juga sesuai dengan *biodegradability* laktosa yang termasuk dalam kategori *biodegradable*. Dengan demikian, diperoleh nilai LC₅₀-96h zat organik dengan menggunakan Metode Probit sebesar berdasarkan tingkat toksisitasnya dari yang paling toksik adalah : Formaldehid, Asam Asetat, Asam Oksalat, Glukosa, Sukrosa dan Laktosa. Hal ini memverifikasi dari hasil analisis laboratorium yang telah dilakukan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

3.6 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Rasio BOD/COD menunjukkan tendensi zat organik golongan alifatik yaitu Glukosa, Laktosa dan Sukrosa, ialah *biodegradable* dengan urutan tingkat *biodegradability* terbesar adalah Laktosa, Sukrosa dan Glukosa. Sedangkan tendensi zat organik golongan aromatik yaitu Asam Asetat, Asam Oksalat, dan Formaldehid, adalah *non-biodegradable*. Untuk kategori *acceptable*, hanya terdapat pada Laktosa pada konsentrasi 10mg/l yaitu sebesar 0,925.
2. Diperoleh hubungan POW berbanding lurus dengan tingkat toksisitas (*toxicity level*) suatu zat. Berbanding terbalik dengan rasio BOD/COD, dimana semakin kecil nilai rasio BOD/COD, semakin *non-biodegradable* senyawa tersebut. Sehingga semakin *non-biodegradable* zat organik, semakin bertendensi ke biota, tidak terbuang melalui air, urin maupun sistem pembuangan lainnya (hanya sebagian kecil saja).
3. Uji toksisitas LC₅₀-96h pada *Brachydanio rerio* telah memverifikasi hasil analisa laboratorim yang dilakukan. Diperoleh nilai LC₅₀-96h formaldehid terkecil yaitu 23,99 sesuai dengan *biodegradability* formaldehid yang termasuk dalam kategori *non-biodegradable*. Laktosa dengan nilai LC₅₀-96h terbesar yaitu 851,14 sesuai dengan *biodegradability* laktosa yang termasuk dalam kategori *biodegradable*.

3.7 Saran

Saran yang dapat diambil dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Penelitian selanjutnya dapat meneliti tentang hubungan rasio BOD/COD dan POW pada zat organik lainnya.
2. Penelitian selanjutnya dapat melakukan uji toksisitas LC50 dengan waktu pemaparan yang lebih panjang, misalnya satu siklus hidup ikan, sehingga dapat diperoleh data yang lebih lengkap terhadap pertumbuhan serta kondisi ikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (1999), *Toxicological Profile for Formaldehyde*. ATSDR.
- Asian Development Bank. (1987), *Handbook on the use of pesticides in Asia-Pacific Region*, 86 pp, ADB.
- Apituley, Daniel. (2009), Effect of Using A Formaldehyde on Protein Damage of Fish Meat of Thuna (Thunus sp), *AGRITECH*, Vol. 29, No. 1.
- Argo D, Imono. (2001). *Toksikologi Dasar*. Laboratorium Farmakologi Dan Toksikologi Fakultas Farmasi Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Arianti, F.D. (2002), *Toksisitas insektisida endosulfan terhadap ikan nila (Oreochromis niloticus) dalam lingkungan air tawar*, Tesis, Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor, 87 hlm.
- Axelrod, H.R., Burgess, W. E. , Pronek, N., dan Walls, J.G. (1997). *Dr.Axelrod's Atlas of Freshwater Aquarium Fishes*, Ninth Edition, T.F.H Publications. Inc. USA. 305p.
- Badan Pengawas Obat dan Makanan. (2015), *Waspadai Pangan yang Mengandung Bahan Berbahaya*, 1-2, BPOM RI, Jakarta.
- Budiman, M.S. (2009), *Monosakarida*, Jurusan Kimia Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung.
- Buckle, K. A., R. A. Edwards, G. H. Fleet, and M. Wootton. (1987). *Ilmu Pangan*. Jakarta: UI Press.
- Cahyadi, W. (2008), *Analisis dan Aspek Kesehatan Bahan Tambahan Pangan*, Bumi Aksara, Jakarta.
- Conell DW, Miller JG. (1995), *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. Jakarta: UI Press.
- Dougherty, C. (2002). *Introduction to Econometrics. 2nd Ed*. New York: Oxford University Press.
- Doyle, M.P., Erickson, M.C. (2006), Closing The Door On The Fecal Coliform Assay, *Microbe 1*, hal. 162-163.

- Eschmeyer, W.N. (1990). *Catalog of The General of Recent Fishes*. California Academy of Sciences. San Fransisco. 697p.
- Fresenius, W., W. Schneider, B. Böhnke, and K. Pöppinghaus (eds.). (1989), *Waste Water*.
- Froese, R. dan Pauly, D. (2003). *Zebra danio*. <http://www.fishbase.org>.
- Gandjar, Ibnu Gholib, Abdul Rohman. (2007), *Kimia Farmasi Analisis*, Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Hammilton, (2004). *Zebra danio*. [http://www. Fishbase.com](http://www.Fishbase.com).
- Handayani. (2006), *Bahaya Kandungan Formalin pada Makanan*, Klinik PT. Astra International Tbk, Jakarta.
- Hardoyo, Agus E.T., Dyah P., Hartono., dan Musa. (2007), Kondisi Optimum Fermentasi Asam Asetat menggunakan *Acetobacter aceti* B166, *J. Sains MIPA*, edisi khusus Vol 13, No.1, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi Universitas Lampung, Lampung.
- Heck, H. d'A., M. C. Schmitz, P.B. Dodd, E.N. Schachter, T.J. Witek., dan T. Tosun. (1985), Formaldehyde (CH_2O) Concentration in The Blood of Humans and Fischer-344 Rats Exposed to CH_2O under Controlled Conditions. *J. Am. Ind. Hyg. Assoc.* 46(1):1-3.
- Hendri M, Gusti D, Jetun T. (2010), Konsentrasi Letal (LC50-48 jam) Logam Tembaga (Cu) dan Logam Kadmium (Cd) Terhadap Tingkat Mortalitas Juwana Kuda Laut (*Hippocampus spp*), *Jurnal Penelitian Sains*, 13(1): 26-30.
- Hewitt, P.G. (2003), *Conseptual Integrated Science Chemistry*, Pearson Education Inc, San Francisco.
- Horizon. (2001). *Penuntun Praktikum Kimia Organik II*. Jambi : UNJA
- Intanwati, Sherly. (2012), *Intoleransi Laktosa*, Tesis, Universitas Brawijaya, Malang.
- Joyce, LeFever. (2013), *Pedoman Pemeriksaan Laboratorium dan Diagnostik Edisi 6*, EGC, Jakarta.
- Kohar, H.J. dan Agustanti. (2004), Daun Kangkung (*Ipomoea Reptans*) Yang Direbus Dengan Penambahan NaCl Dan Asam Asetat, *Makara Sains*, Jakarta.

- Kos, Lech., Michalska, Karina., Żylla, Renata., Perkowski, Jan. (2012), Effect of Acetic Acid on Pollutant Decomposition in Textile Wastewater Treated by The Fenton Method, *Environment Protection Engineering*. Vol. 38 No. 2, DOI: 10.5277/epe120203
- Kuswuri, R. (2011). *Sugar Cane Processing and Technology*. <http://www.risvank.com/2011/12/22/pemurnian-nira-di-pabrikgula/>.
- Lehninger. (1984). *Dasar-Dasar Biokimia*. Jakarta : Erlangga
- Mackay, D., Shiu, W. Y., and Ma, K. C. (2006), *Handbook of Physical-Chemical Properties and Environmental Fate for Organic Compounds*, 2nd ed. CRC Taylor & Francis : Boca Raton, FL.
- Mangkoedihardjo, Sarwoko., Samudro, Ganjar. (2010), Review on BOD, COD and BOD/COD Ratio: A Triangle Zone for Toxic, Biodegradable and Stable Levels, *International Journal Of Academic Research*, Vol. 2. No. 4. July. www.ijar.lit.az.
- Mangkoedihardjo, Sarwoko. (2010), *Ekotoksikologi Teknosfer*, Guna Widya, Surabaya.
- Martinen, S.K., Kettunen, R.H., Sormunen, K.M., Soimasuo, R.M., and J.A. Rintala. (2002), Screening of Physical-Chemical Methods for Removal of Organic Material, Nitrogen and Toxicity from Low Strength Landfill Leachate, *Chemosphere*, 46(6), 851-858.
- Manitoba Federation of Labour Occupational Healthcare Inc. (2004), *Formaldehyde, MFL*, <http://www.mflohc.mb.ca>.
- Meinelt, T., Schulz, C., Wirth, M., Kurzinger, H and Steinberg, C. (2000). *Correlation of diets high in polyunsaturated fatty acids with high growth rate in Zebrafish (Danio rerio)*. *Comparative Medicine* 50(1):43-45
- Mendenhall, William. (2011). *A Second Course in Statistics: Regression Analysis [7th (Seventh) Edition]*. Prentice Hall.
- Meyer, B. N., Ferrigni, N. R., Putman, J. E., Jacobsen, L. B., Nicols, D. E., and McLaughlin, J. L. (1982), *Brine Shrimp : A Convenient general Bioassay For Active Plant Constituents*, *Plant Medica*
- Murray, R.K., Granner, D.K., Mayes, P.A., and Rodwell, V.W. (2006), *Biokimia Harper*, Edisi 25, EGC. p.25-28, 138-47, 170-8, 290-305, 632-43, Jakarta.

- National Institute the Occupational Safety and Health. (2007), *Ergonomic Guidelines For Manual Material Handling*, NIOSH, 4676 Columbia Parkway Cincinnati, <http://www.cdc.gov/niosh/docs>.
- Noonan, S. C., Savage, G. P. (1999). Oxalate Contents in Foods and Its Effects on Human. *Asia Pacific. J. Clinic Nutrional*. 81(1): 64-67.
- Organisation for Economic Co-operation and Development, (1992). *Compendium of Environmental Exposure Assesment Methods for Chemicals in Model Ecosystem*. National Research Council, OECD.
- Othmer, Kirk. (2004). *Encyclopedia Of Chemical Technology*. Volume 19. New York. Wiley Interscience Publication.
- Papadopoulos, A., Parissopoulos, G., Papadopoulos, F., and Karteris, A. (2001), Variations of COD/BOD5 Ratio At Different Units of A Wastewater Stabilization Pond Pilot Treatment Facility, *7 th International Conference on Environmental Science and Technology Ermoupolis, Syros Island, Greece-Sept 2001*, p 369-376.
- Pradhan, S., Kumar, P., Mehrotra, I. (2016), Sorption of Aqueous Organics by Aquifer Material: Correlation of Batch Sorption Parameters with Octanol-Water Partition Coefficient, *J. Environ. Eng.* 142 [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001064](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001064).
- Pradhan, Snigdhendubala., Kumar, Pradeep., Mehrotra, Indu. (2015), River Pollution: Assessment of Hydro-philic and Phobic Nature of Persistent Organic Contaminants, *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 3 : 47–54. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enmm.2014.12.002>.
- Pradipta, I. S, Nikodemus, T. W. dan Susilawati, Y. (2007), Isolasi dan Identifikasi Senyawa Golongan Xanton dari Kulit Buah Manggis (*Garcinia mangostana L.*), *Jurnal Ilmiah Farmasi*, 4(2).
- Pracoyo, N.E. (2006), Penelitian Bakteriologik Air Minum Isi Ulang di Daerah Jabotabek, *Cermin Dunia Kedokteran*, 152, hal. 37-40.
- Rossiana, N. (2006), Uji Toksisitas Limbah Cair Tahu Sumedang terhadap Reproduksi *Daphnia carinata* KING, *Jurnal Biologi*, Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Padjadjaran. Bandung

- Sakurai, A., Sakamoto, Y., Mori, F. (1992). *Aquarium fishes of the world : the comprehensive guide to 650 species*. Chronicle Book. San Fransisco., California. Hal 46-47, 51.
- Salmin. (2005), Oksigen Terlarut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) Sebagai Salah Satu Indikator Untuk Menentukan Kualitas Perairan, *Oseana*, Volume XXX No. 3, hlm. 1-6.
- Sangster, J. (2010), *LOGKOW: A Databank of Evaluated Octanol-Water Partition Coefficients (logP)*, Sangster Research Laboratories.Montreal, Quebec.
- Setiawan, L., dan Irvani, A. (2007), *Pembuatan Asam Asetat dengan Cara Murni*. Jakarta.
- Shah L. S. (2010), Hematological changes in Tinca tinca after exposure to lethal and Sublethal doses of Mercury, Cadmium and Lead, *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 9(3): 434-443.
- Sinuhaji, A.B. (2006), Intoleransi Laktosa, *Kedokteran Nusantara* 39, 4, 424- 429.
- Slamet, J.S. (2000), *Kesehatan Lingkungan*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Solomons, N.W. (2002). Fermentation, Fermented Foods and Lactose Intolerance, *Eur. J. Clin. Nutr*, 56, Suppl 4, 50-55.
- Sotelo, J.L., Costa, E., Calleja, G., dan Maaron, C. (1987), Adsorption of Binary and Tertiary Hydrocarbon Gas Mixtures on Activated Carbon: Experimental Determination and Theoretical Prediction of the Tertiary Equilibrium Data, *AIChE J*, 27, pp. 5-12.
- Srikandi, Fardiaz. (1992), *Mikrobiologi Pangan 1*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Srinivas, T. (2008), *Environmental Biotechnology*, New Age International.
- Sugiharto. (2008), *Dasar-Dasar Pengolahan Air Limbah*, Universitas Indonesia (UI-Press), Jakarta.
- Tambayong, Jan. (2009), *Patofisiologi Untuk Keperawatan*, EGC, Jakarta.
- Thorpe. (1974). *Thorpe's Dictionary of Applied Chemistry. Vol XI. Fourt Ed.* Longmans Green and Company. London
- Tranggono, S., Sutardi, Haryadi, Suparno, A., Murdiyati, S., Sudarmadji, K., Rahayu, S., Naruki, M., dan Astuti. (1990). *Bahan Tambahan Makanan*

- (*Food Additive*). Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Turner, Andrew and Williamson, Ian. (2005). Octanol-water partitioning of chemical constituents in river water and treated sewage effluent. *Water Research*, 39 4325-4334.
- United States Environmental Protection Agency. (2002), *Method for Measuring the Acute Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater and Marine Organism, Fifth Edition*, EPA-821-R-02- 012, Office of Water (43035), Washington, DC, USEPA.
- Vincent K. (2008), *Probit Analysis*, <http://userwww.sfsu.edu/probit/ProbitAnalysis.pdf>
- Waluyo, L. (2014). *Mikrobiologi Umum*, UMM Press, Malang.
- Wang Z.P., Zhan Z., Lin Y.J., Deng N.S., Tao T., K. Zhuo. (2002), Landfill Leachate Treatment by A Coagulation-Photooxidation Process, *J. Hazardous Matter*, 95 (1/2): 153-159.
- Wardhana, Wisnu. (2004), *Dampak Pencemaran Lingkungan (Edisi Revisi)*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Wilson, S. (2003). *Zebrafish, Daniorerio*, <http://www.neuro.uoregon.edu/k12/FAQs.html-67k>
- World Health Organization. (2002). *Formaldehyde Concise International Chemichal Assessment Docimient 40*, WHO, Geneva.
- Yusuf, M; Handoyo, G. (2004), Dampak Pencemaran Terhadap Kualitas Perairan dan Strategi Adaptasi Organisme Makrobentos di Perairan Pulau Tirangcawang Semarang, *Ilmu Kelautan*, 9 (1): 12-42.
- Yuniarto, Ari; Sukandar, Elin Yulinah; Fidrianny, Irda; Adnyana, I Ketut. (2017), Aplikasi Zebrafish (*Danio rerio*) pada Beberapa Model Penyakit Eksperimental, *Media Pharmaceutica Indonesiana*, Vol. 1 No.3 Juni 2017.

Lampiran 1. Hasil Analisis BOD₅ (*Biological Oxygen Demand*).

No	Zat Organik	Konsentrasi Zat								
		10 mg/l			100 mg/l			1000 mg/l		
1	Glukosa	5,67	2,30	4,60	48	24	48,25	518	374	464
			4,19			40,08			452	
2	Laktosa	7,4	7,9	7,73	84	68	78	736	764	752
			7,68			76,67			750,67	
3	Sukrosa	5,53	6,17	5,3	57,25	42,5	75,5	464	564	458
			5,67			58,42			495,3	
4	Formaldehid	0,77	0,77	0,77	13	9,75	11,25	110	102	84
			0,77			11,33			98,67	
5	Asam Asetat	2,77	0,93	1,47	18,5	15	16,25	180	156	140
			1,72			16,58			158,67	
6	Asam Oksalat	0,77	0,8	0,8	17,25	13,5	10,75	122	100	122
			0,79			13,83			114,67	

Lampiran 2. Hasil Analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*).

No	Zat Organik	Konsentrasi Zat								
		10 mg/l			100 mg/l			1000 mg/l		
1	Glukosa	6	6	7	97	94	94	892	894	910
			6,33			95			899	
2	Laktosa	9	7	9	98,5	92,5	97,5	958	966	963
			8,3			96,17			962	
3	Sukrosa	7	7	8	94	97	93	954	964	946
			7,33			94,67			954	
4	Formaldehid	6	6	4	66	56	72	119	126	126
			5,3			65			123	
5	Asam Asetat	6	6	8	92	92	96	790	793	794
			6,67			93,33			792	
6	Asam Oksalat	9	6	8	32	46	38	783	789	817
			7,7			42			796	

Lampiran 3. Hasil Analisis POW (Partisi Oktanol *Water*).

No	Zat Organik	Konsentrasi Zat								
		10 mg/l			100 mg/l			1000 mg/l		
1	Glukosa	0,68	0,67	0,66	0,71	0,74	0,74	1,05	1,07	1,06
			0,67			0,73			1,06	
2	Laktosa	0,66	0,66	0,67	0,69	0,68	0,68	0,75	0,78	0,78
			0,66			0,68			0,77	
3	Sukrosa	0,69	0,70	0,69	0,74	0,75	0,73	1,36	1,35	1,35
			0,69			0,74			1,35	
4	Formaldehid	0,72	0,70	0,72	2,38	2,39	2,39	4,53	4,55	4,55
			0,71			2,39			4,54	
5	Asam Asetat	0,68	0,67	0,69	1,05	1,05	1,07	1,59	1,59	1,57
			0,68			1,06			1,58	
6	Asam Oksalat	1,07	1,07	1,06	1,52	1,52	1,53	2,32	2,33	2,33
			1,07			1,53			2,33	

Lampiran 4. Hasil Uji Toksisitas *Brachydanio rerio*.

No	Zat Organik	Konsentrasi (mg/l)	Mortalitas <i>Brachydanio rerio</i>			
			24 jam	48 jam	72 jam	96 jam
1	Glukosa	0	0	0	0	0
		10	0	0	0	0
		100	0	0	0	2
		1000	0	0	3	5
2	Laktosa	0	0	0	0	0
		10	0	0	0	0
		100	0	0	0	0
		1000	0	0	2	3
3	Sukrosa	0	0	0	0	0
		10	0	0	0	0
		100	0	0	0	0
		1000	0	1	3	5
4	Formaldehid	0	0	0	0	0
		10	0	1	1	2

		100	1	1	2	2
		1000	2	3	5	-
5	Asam Asetat	0	0	0	0	0
		10	0	0	1	2
		100	0	1	2	3
		1000	2	2	3	3
6	Asam Oksalat	0	0	0	0	0
		10	0	0	1	1
		100	0	1	2	2
		1000	1	2	3	4

Lampiran 5. Hasil Pengujian Gas Kromatografi

No	Zat Organik	Konsentrasi Zat								
		10 mg/l			100 mg/l			1000 mg/l		
1	Glukosa	5,96	5,98	6,00	5,84	5,74	5,74	4,88	4,84	4,86
2	Laktosa	6,00	6,00	5,98	0,69	5,96	5,96	5,70	5,60	5,60
3	Sukrosa	5,90	5,87	5,90	5,74	5,71	5,77	4,24	4,26	4,26
4	Formaldehid	5,80	5,90	5,80	2,97	2,95	2,95	8,19	8,20	8,20
5	Asam Asetat	5,96	5,98	5,90	4,88	4,88	4,84	3,86	3,86	3,89
6	Asam Oksalat	4,84	4,84	4,86	3,97	3,97	3,95	3,01	3,00	3,00

Lampiran 6. Tabel Transformasi Probit

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	—	2.67	2.95	3.12	3.25	3.36	3.45	3.52	3.59	3.66
10	3.72	3.77	3.82	3.87	3.92	3.96	4.01	4.05	4.08	4.12
20	4.16	4.19	4.23	4.26	4.29	4.33	4.36	4.39	4.42	4.45
30	4.48	4.50	4.53	4.56	4.59	4.61	4.64	4.67	4.69	4.72
40	4.75	4.77	4.80	4.82	4.85	4.87	4.90	4.92	4.95	4.97
50	5.00	5.03	5.05	5.08	5.10	5.13	5.15	5.18	5.20	5.23
60	5.25	5.28	5.31	5.33	5.36	5.39	5.41	5.44	5.47	5.50
70	5.52	5.55	5.58	5.61	5.64	5.67	5.71	5.74	5.77	5.81
80	5.84	5.88	5.92	5.95	5.99	6.04	6.08	6.13	6.18	6.23
90	6.28	6.34	6.41	6.48	6.55	6.64	6.75	6.88	7.05	7.33
—	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
99	7.33	7.37	7.41	7.46	7.51	7.58	7.65	7.75	7.88	8.09

LAMPIRAN 7. Perhitungan Partisi Oktanol Air

No	Zat Organik	Konsentrasi Zat								
		10 mg/l			100 mg/l			1000 mg/l		
1	Glukosa	$\frac{4,04}{5,96} = 0,68$	$\frac{4,02}{5,98} = 0,67$	$\frac{4,00}{6,00} = 0,66$	$\frac{4,16}{5,84} = 0,71$	$\frac{4,26}{5,74} = 0,74$	$\frac{4,26}{5,74} = 0,74$	$\frac{5,12}{4,88} = 1,05$	$\frac{5,16}{4,84} = 1,07$	$\frac{5,14}{4,86} = 1,06$
2	Laktosa	$\frac{4,00}{6,00} = 0,66$	$\frac{4,00}{6,00} = 0,66$	$\frac{4,02}{5,98} = 0,67$	$\frac{4,10}{5,90} = 0,69$	$\frac{4,04}{5,96} = 0,68$	$\frac{4,04}{5,96} = 0,68$	$\frac{4,30}{5,70} = 0,75$	$\frac{4,40}{5,60} = 0,78$	$\frac{4,40}{5,60} = 0,78$
3	Sukrosa	$\frac{4,10}{5,90} = 0,69$	$\frac{4,13}{5,87} = 0,70$	$\frac{4,10}{5,90} = 0,69$	$\frac{4,26}{5,74} = 0,74$	$\frac{4,30}{5,70} = 0,75$	$\frac{4,23}{5,77} = 0,73$	$\frac{5,76}{4,24} = 1,36$	$\frac{5,74}{4,26} = 1,35$	$\frac{5,74}{4,26} = 1,35$
4	Formaldehid	$\frac{4,20}{5,80} = 0,72$	$\frac{4,13}{5,87} = 0,70$	$\frac{4,20}{5,80} = 0,72$	$\frac{7,03}{2,97} = 2,38$	$\frac{7,05}{2,95} = 2,39$	$\frac{7,05}{2,95} = 2,39$	$\frac{8,19}{1,81} = 4,53$	$\frac{8,20}{1,80} = 4,55$	$\frac{8,20}{1,80} = 4,55$
5	Asam Asetat	$\frac{4,04}{5,96} = 0,68$	$\frac{4,02}{5,98} = 0,67$	$\frac{4,10}{5,90} = 0,69$	$\frac{5,12}{4,88} = 1,05$	$\frac{5,12}{4,88} = 1,05$	$\frac{5,16}{4,84} = 1,07$	$\frac{6,14}{3,86} = 1,59$	$\frac{6,14}{3,86} = 1,59$	$\frac{6,11}{3,89} = 1,57$
6	Asam Oksalat	$\frac{5,16}{4,84} = 1,07$	$\frac{5,16}{4,84} = 1,07$	$\frac{5,14}{4,86} = 1,06$	$\frac{6,03}{3,97} = 1,52$	$\frac{6,03}{3,97} = 1,52$	$\frac{6,05}{3,95} = 1,54$	$\frac{6,99}{3,01} = 2,32$	$\frac{7,00}{3,00} = 2,33$	$\frac{7,00}{3,00} = 2,33$

Koefisien partisi oktanol air (POW), yang diformulasikan sebagai berikut :

$$\text{POW} = [\text{zat dalam oktanol}] / [\text{zat dalam air}]$$

(Mangkoedihardjo, 2010)

LAMPIRAN 8. Perhitungan Analisa Probit LC₅₀

SUMMARY OUTPUT

SUCROSE

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,962526175
R Square	0,926456637
Adjusted R Square	0,852913274
Standard Error	0,996125829
Observations	3

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	12,5	12,5	12,59742005	0,174833549
Residual	1	0,992266667	0,992266667		
Total	2	13,49226667			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	2,093333333	1,521607337	1,375738196	0,400141628	-21,42718769	17,24052102	-	17,24052102
X Variable 1	0,082	0,704367328	3,549284442	0,174833549	-6,449835483	11,44983548	-	11,44983548

SUMMARY OUTPUT

GLUCOSE

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,866025404
R Square	0,75
Adjusted R Square	0,5
Standard Error	3,30272867
Observations	3

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	32,72405	32,72405	3	0,333333333
Residual	1	10,90801667	10,90801667		
Total	2	43,63206667			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	5,393333333	5,045001377	1,069044968	0,47876359	-69,49615371	58,70948704	69,49615371	58,70948704
X Variable 1	0,087	2,335381839	1,732050808	0,333333333	-25,62883978	33,71883978	25,62883978	33,71883978

SUMMARY OUTPUT

LACTOSE

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,866025404
R Square	0,75
Adjusted R Square	0,5
Standard Error	2,563799264
Observations	3

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	19,7192	19,7192	3	0,333333333
Residual	1	6,573066667	6,573067		
Total	2	26,29226667			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-2,776666667	3,916268065	-1,06904	0,478764	-53,94757049	45,57423716	-53,94757049	45,57423716
X Variable 1	0,052	1,812879845	1,732051	0,333333	-19,89482247	26,17482247	-19,89482247	26,17482247

SUMMARY OUTPUT
FORMALDEHYDE

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,92703416
R Square	0,859392333
Adjusted R Square	0,718784667
Standard Error	0,955301
Observations	3

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	5,5778	5,5778	6,111988	0,244698715
Residual	1	0,9126	0,9126		
Total	2	6,4904			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	2,69	1,459246381	1,843417	0,316428	-15,85148327	21,23148327	-	21,23148327
X Variable 1	0,104	0,675499815	2,472243	0,244699	-6,913038947	10,25303895	-	10,25303895

SUMMARY OUTPUT

OXALIC ACID

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,949474811
R Square	0,901502416
Adjusted R Square	0,803004833
Standard Error	0,918558654
Observations	3

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	7,72245	7,72245	9,152533	0,203233286
Residual	1	0,84375	0,84375		
Total	2	8,5662			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	31,66	1,40312152	1,297108	0,418114	-16,0083493	19,6483493	-16,0083493	19,6483493
X Variable 1	0,049	0,649519053	3,025315	0,203233	-6,287922064	10,21792206	-6,287922064	10,21792206

SUMMARY OUTPUT

ACETIC ACID

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,949329658
R Square	0,901226799
Adjusted R Square	0,802453597
Standard Error	0,845073961
Observations	3

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	6,51605	6,51605	9,124204	0,203527519
Residual	1	0,71415	0,71415		
Total	2	7,2302			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	2,33	1,290871798	1,804982	0,322083	-14,07208136	18,73208136	-	18,73208136
X Variable 1	0,102	0,597557529	3,02063	0,203528	-5,787688299	9,397688299	-	9,397688299

<i>Concentration (mg/l)</i>	<i>log 10 (concentration)</i>	<i>% Dead</i>	<i>Probit</i>
10	1	0	0
100	2	10	3,72
1000	3	80	5,84

<i>Intercept</i>	-2,093333333
<i>X Variable 1</i>	0,082

SUCROSE

$$y=ax+b$$

$$y=0,082x+(-2,09) \quad 8,653$$

$$5=0,082x-2,09$$

$$5+2,09=0,082x$$

$$x=(5+2,09)/0,082$$

$$x=8,65$$

$$LC50 = \text{antilog } x$$

$$LC50 = \text{antilog } 8,65 \quad 685,4882265$$

$$LC50 = 685,49$$

<i>Concentration (mg/l)</i>	<i>log 10 (concentration)</i>	<i>% Dead</i>	<i>Probit</i>
10	1	0	0
100	2	20	4,16
1000	3	80	5,84

<i>Intercept</i>	-5,393333333
<i>X Variable 1</i>	0,087

GLUCOSE

$$y=ax+b$$

$$y=0,087x+(-5,39) \quad 11,192603214$$

$$5=0,087x-5,39$$

$$5+5,39=0,087x$$

$$x=(5+5,39)/0,087$$

$$x=11,19$$

$$LC50 = \text{antilog } x$$

$$LC50 = \text{antilog } 11,19 \quad 371,5352291$$

$$LC50 = 371,53$$

<i>Concentration (mg/l)</i>	<i>log 10 (concentration)</i>	<i>% Dead</i>	<i>Probit</i>
10	1	0	0
100	2	0	0
1000	3	50	5,00

Intercept -2,776666667

X Variable 1 0,052

LACTOSE

$y=ax+b$

$y=0,052x+(-2,77)$ 2,926751592

$5=0,052x-2,77$

$5+2,77=0,052x$

$x=(5+2,77)/0,052$

$x=149,42$

LC50 = antilog x

LC50= antilog 14,94 851,1380382

LC50 = 851,14

<i>Concentration (mg/l)</i>	<i>log 10 (concentration)</i>	<i>% Dead</i>	<i>Probit</i>
10	1	40	4,75
100	2	60	5,25
1000	3	100	8,09

Intercept 2,69

X Variable 1 0,104

FORMALDEHYDE

$y=ax+b$

$y=0,104x+2,69$ 2,263233533

$5=0,104x+2,69$

$5-2,69=0,104x$

$x=(5-2,69)/0,104$

$x=2,26$

LC50 = antilog x

LC50 = antilog 2,26 23,98832919

LC50=23,99

<i>Concentration (mg/l)</i>	<i>log 10 (concentration)</i>	<i>% Dead</i>	<i>Probit</i>
10	1	20	4,16
100	2	50	5,00
1000	3	80	5,84

<i>Intercept</i>	31,66
<i>X Variable 1</i>	0,049

OXALIC ACID

$$y=ax+b$$

$$y=0,049x+31,66 \quad 1,618320611$$

$$5=0,049x+31,66$$

$$5-31,66=0,049x$$

$$x=(5-31,66)/0,049$$

$$x=1,62$$

$$LC50 = \text{antilog } x$$

$$LC50 = \text{antilog } 1,62 \quad 41,68693835$$

$$LC50=41,69$$

<i>Concentration (mg/l)</i>	<i>log 10 (concentration)</i>	<i>% Dead</i>	<i>Probit</i>
10	1	30	4,48
100	2	50	5,00
1000	3	100	8,09

<i>Intercept</i>	2,33
<i>X Variable 1</i>	0,102

ACETIC ACID

$$y=ax+b$$

$$y=0,102x+2,33 \quad 2,629224377$$

$$5=0,102x+2,33$$

$$5-2,33=0,102x$$

$$x=(5-2,33)/0,102$$

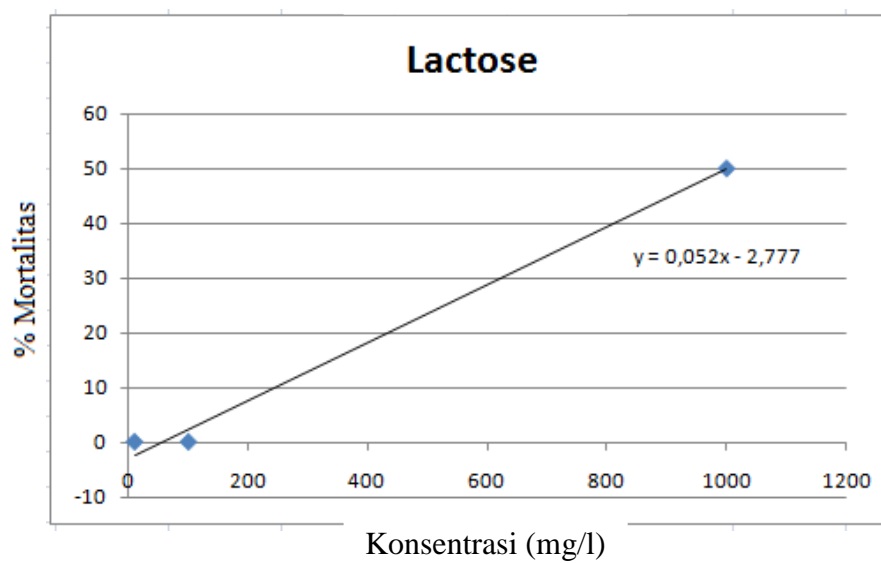
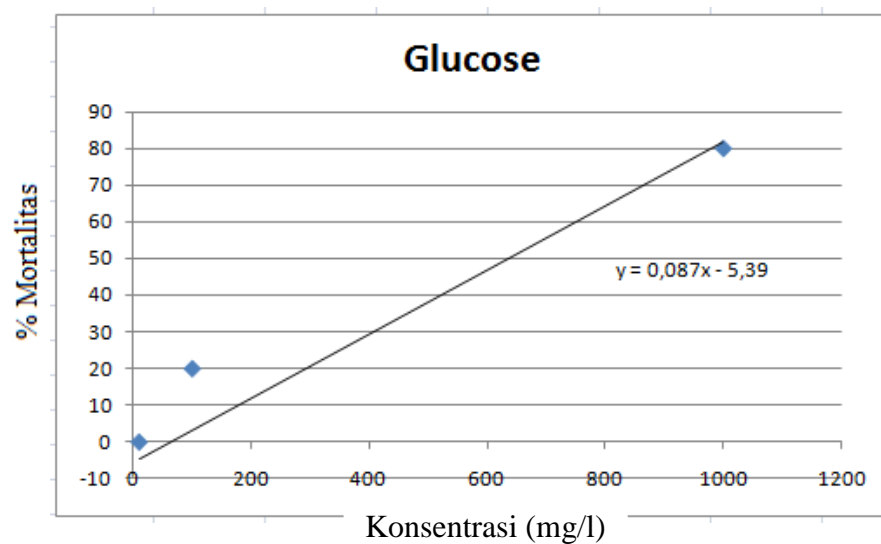
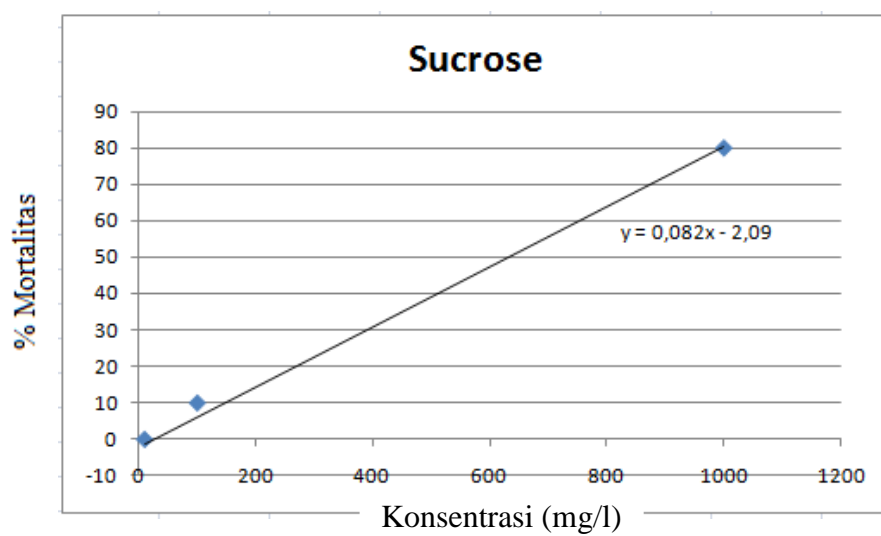
$$x=2,62$$

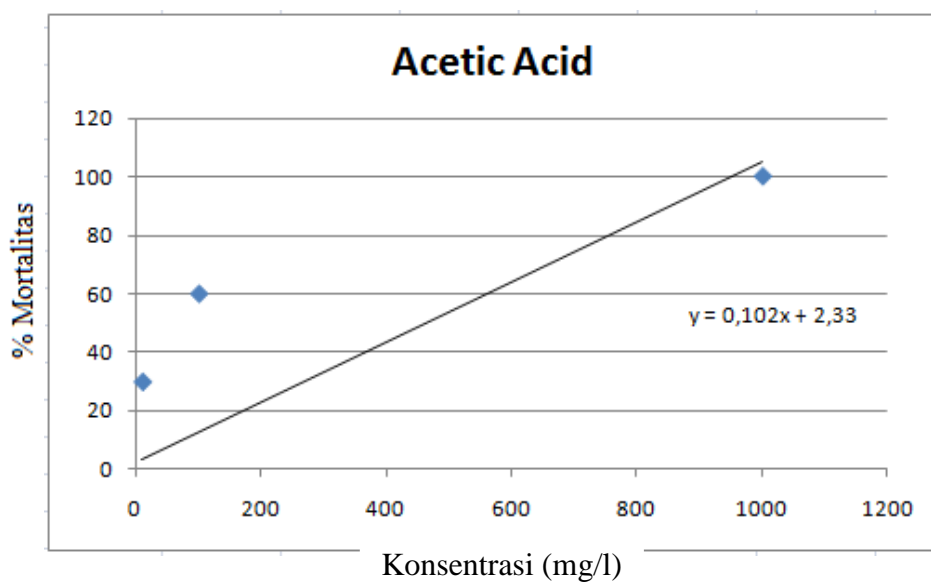
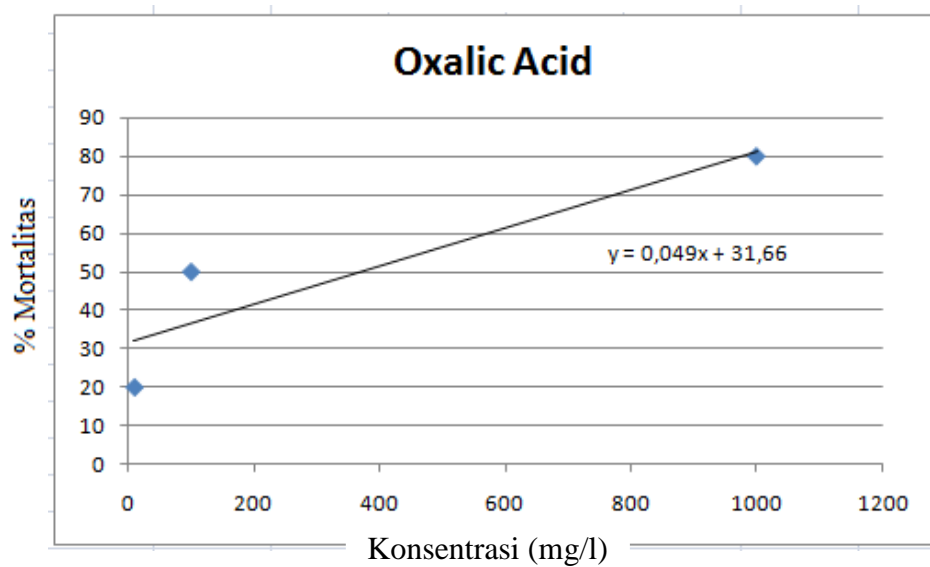
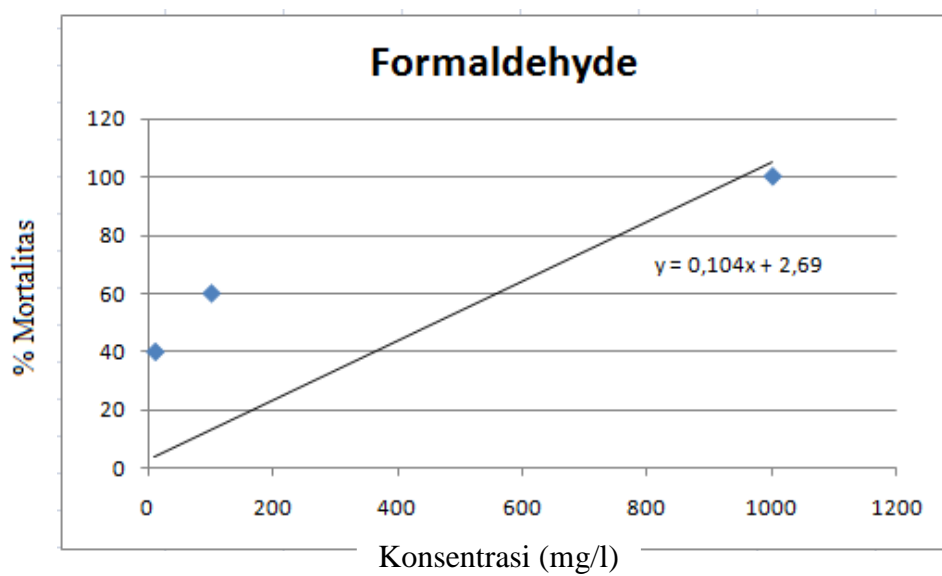
$$LC50 = \text{antilog } x$$

$$LC50 = \text{antilog } 2,62 \quad 30,1995172$$

$$LC50=30,19$$

Lampiran 9. Grafik Persamaan Garis Probit





Lampiran 10. Analisis BOD₅, COD dan POW

1. Analisis BOD₅ (*Biological Oxygen Demand*)

1.1 Alat dan Bahan

1. Botol-botol Inkubasi Winkler 250-320 ml
2. Inkubator
3. Labu Takar
4. Pipet 10 ml dan 1 ml
5. Peralatan bagi analisa oksigen terlarut

1.2 Reagen

1. Air Suling
2. Larutan Bufer Fosfat.
Larutkan ke dalam labu takar 1 liter yang berisi 500 ml air suling, 8,5 g KH_2PO_4 , 21,75 g K_2HPO_4 , 33,4 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ dan 1,7 g NH_4Cl . Kemudian encerkan dengan air suling sampai menjadi 1 liter. Sesuaikan pH nya sampai 7,2 dengan asam HCl atau basa NaOH 0,1 atau 1N.
3. Larutan Magnesium Sulfat.
Larutkan ke dalam labu takar 1 liter yang berisi 500 ml air suling, 22,5 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan encerkan dengan air suling sampai 1 liter.
4. Larutan Kalsium Klorida.
Larutkan ke dalam labu takar 1 liter yang berisi 500 ml air suling, 27,5 g CaCl_2 dan encerkan dengan air suling sampai 1 liter.
5. Larutan Feriklorida.
Larutkan ke dalam labu takar 1 liter yang berisi 500 ml air suling, 0,25 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan encerkan dengan air suling sampai 1 liter. Larutkan ke dalam labu takar 1 liter yang berisi 500 ml air suling, 27,5 g CaCl_2 dan encerkan dengan air suling sampai 1 liter.
6. Larutan basa NaOH atau KOH dan asam HCl atau H_2SO_4 1N untuk menetralkan sampel air yang bersifat asam atau basa sampai pH nya berkisar antara 7,0 - 7,6.

1.3 Prosedur Percobaan

i. Pembuatan Air Pengencer

Air pengencer ini tergantung banyaknya sampel yang akan dianalisa dan pengencerannya. Dengan prosedur sebagai berikut :

1. Tambahkan 1 ml larutan buffer fosfat per liter air.
2. Tambahkan 1 ml larutan magnesium sulfat per liter air.
3. Tambahkan 1 ml larutan kalium klorida per liter air.
4. Tambahkan 1 ml larutan feri klorida per liter air.

i. Prosedur BOD

1. Menentukan pengenceran.

Untuk menganalisa BOD harus diketahui besarnya pengenceran melalui KMnO_4 sebagai berikut :

$$P = \frac{\text{angka KMnO}_4}{3 \text{ atau } 5}$$

ii. Prosedur BOD dengan Winkler

1. Siapkan 1 buah labu takar 500 ml dan tuangkan sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran, tambahkan air pengencer sampai batas labu.
2. Siapkan 2 buah botol Winkler 300 ml dan 2 buah botol Winkler 150 ml.
3. Tuangkan air dalam labu takar tadi kedalam botol Winkler 300 ml dan 150 ml sampai tumpah.
4. Tangkan air pengencer ke botol Winkler 300 ml dan 150 ml sebagai blanko sampai tumpah.
5. Masukkan kedua botol Winkler 300 ml ke dalam inkubator 20°C selama 5 hari.
6. Kedua botol Winkler 150 ml yang berisi air dianalisa oksigen terlarutnya dengan prosedur sebagai berikut :
 - a. Tambahkan 1 ml larutan mangan sulfat.
 - b. Tambahkan pereaksi oksigen.

- c. Botol ditutup dengan hati-hati agar tidak ada gelembung udaranya lalu balik-balikkan beberapa kali.
 - d. Biarkan gumpalan mengendap selama 5-10 menit.
 - e. Tambahkan 1 ml asam sulfat pekat, tutup dan balik-balikkan.
 - f. Tuangkan 100 ml larutan ke dalam erlenmeyer 250 ml.
 - g. Titrasi dengan larutan Natrium Tiosulfat 0,0125 N sampai warna menjadi coklat muda.
 - h. Tambahkan 3-4 tetes indikator amilum dan titrasi dengan Natrium Tiosulfat hingga warna biru hilang.
7. Setelah 5 hari, analisa kedua larutan dalam botol Winkler 300 ml dengan analisa oksigen terlarut.
 8. Hitung oksigen terlarut dan BOD dengan rumus berikut :

$$OT \left(mg \frac{O_2}{l} \right) = \frac{a \times n \times 8000}{100 \text{ ml}}$$

$$BOD_{520} \left(\frac{mg}{l} \right) = \frac{\{(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)\} \times (1 \times P)}{P}$$

$$P = \frac{ml \text{ sampel}}{volume \text{ hasil pengenceran}}$$

Dimana:

X_0 = Oksigen terlarut sampel pada $t = 0$

X_5 = Oksigen terlarut sampel pada $t = 5$

B_0 = Oksigen terlarut blanko pada $t = 0$

B_5 = Oksigen terlarut blanko pada $t = 5$, dan

P = Derajat pengenceran

2. Analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*)

2.1 Alat dan Bahan

1. Spectroquant Nova 60
2. Thermoreactor TR 320

3. Biuret (10 ml)
4. Labu ukur 50,0 ml; 100,0 ml; 250,0 ml; 500,0 ml dan 1000,0 ml
5. Pipet volumetrik 5,0 ml; 10,0 ml; 15,0 ml; 20,0 ml dan 25,0 ml;
6. Gelas piala
7. *Magnetic stirrer*; dan
8. Timbangan analitik dengan ketelitian 0,1 mg

2.2 Reagen

1. Air Bebas Organik
2. *Digestion solution* pada kisaran konsentrasi tinggi.
Tambahkan 10,216 g yang $K_2Cr_2O_7$ telah dikeringkan pada suhu $150^\circ C$ selama 2 jam ke dalam 500 ml air suling. Tambahkan 167 ml H_2SO_4 pekat dan 33,3 g $HgSO_4$. Larutkan dan dinginkan pada suhu ruang dan encerkan sampai 1000 ml.
3. Larutan Pereaksi Asam Sulfat
4. Larutan baku Kalium Hidrogen Ftalat ($HOOC-C_6H_4-COOK$, KHP)
Larutan baku Kalium Hidrogen Ftalat digunakan sebagai pengendalian mutu kinerja pengukuran.

2.3 Prosedur Percobaan

2.3.1 Pembuatan Larutan Kerja

Buat deret larutan kerja dari larutan induk KHP dengan 1 (satu) blanko dan minimal 3 kadar yang berbeda secara proporsional yang berada pada rentang pengukuran.

2.3.2 Proses Digestion

1. Tambahkan *digestion solution*.
2. Tambahkan larutan pereaksi asam sulfat yang memadai ke dalam tabung.
3. Tutup tabung dan kocok perlahan sampai homogen
4. Letakkan tabung pada pemanas yang telah dipanaskan pada suhu $150^\circ C$.
5. Lakukan refluks selama 2 jam

2.3.3 Proses Kurva Kalibrasi

1. Hidupkan alat dan optimalkan alat uji spektrofotometer sesuai petunjuk penggunaan alat untuk pengujian COD. Atur panjang gelombangnya pada 600 nm atau 420 nm.
2. Ukur serapan masing-masing larutan kerja.
3. Catat dan plotkan terhadap kadar COD.

3 Analisis POW (Koefisien Partisi Oktanol Air)

Alat dan Bahan

1. Oktanol
2. Aquades
3. *Centrifuge*
4. Labu Ukur
5. Gas Kromatografi

Prosedur Percobaan

1. Larutkan sejumlah zat (misalnya glukosa) kedalam larutan campuran oktanol (5 ml) dan air (5 ml) dalam tabung-tabung reaksi.
2. Kocok tabung-tabung reaksi menggunakan *shaker* selama 1jam– 1 hari untuk pencampuran homogen.
3. Pisahkan larutan menggunakan *centrifuge*.
4. Cuplikan air dapat diambil untuk analisis kandungan zat (misalnya didapat c) dan diperoleh hasil POW (sebesar $[C-c]/[c]$) menggunakan gas kromatografi.

Koefisien partisi n-oktanol air (POW), yang diformulasikan sebagai berikut :

$$POW = [\text{zat dalam oktanol}] / [\text{zat dalam air}]$$

(Mangkoedihardjo, 2010)

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Latifa Mirzatika Al-Rosyid dan akrab disapa Latifa. Penulis yang lahir di Yogyakarta, tanggal 09 September 1991 ini merupakan anak pertama dari empat bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Al-Irsyad Al-Islamiah Jember, SD Muhammadiyah 1 Jember, MTS dan MA Al-Zaytun Indramayu. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan studi sebagai mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan angkatan 2010 di Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Pada September 2014, penulis menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Inventarisasi Emisi Gas Metan (CH_4) menggunakan metode *First Order Decay* (FOD) di TPA Piyungan, Bantul, DIY”. Pada tahun 2017, penulis melanjutkan pendidikan Magister Jurusan Teknik Lingkungan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Segala bentuk komunikasi yang ingin disampaikan kepada penulis terkait tesis ini dapat disampaikan melalui email latifamirzatika@gmail.com.